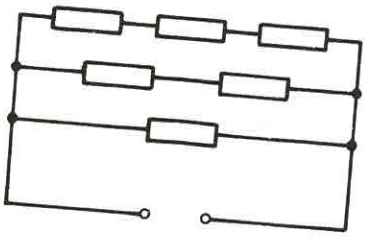
פרק ט - חיבור מעורב של צרכנים

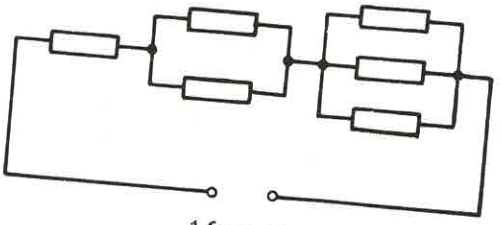
מהות החיבור המעורב

הכרנו עד כה שני אופנים של חיבור צרכנים והם החיבור המקבילי והחיבור הטורי. מצויים מעגלים, המהווים שילוב של חיבור מקבילי וחיבור טורי, הקרויים מעגלים בחיבור מעורב.

מעגל מעורב עשוי לכלול מספר קבוצות מקבילות, המחוברות ביניהן בטור (ציור ט'1), או מספר קבוצות טוריות, המחוברות ביניהן במקביל (ציור ט'2).



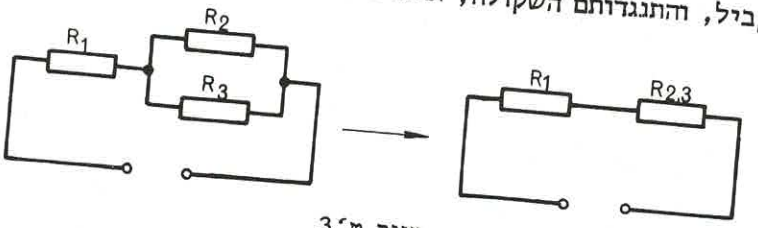
ציור ט'2



ציור ט'1

חישוב ההתנגדות השקולה של מעגל מעורב

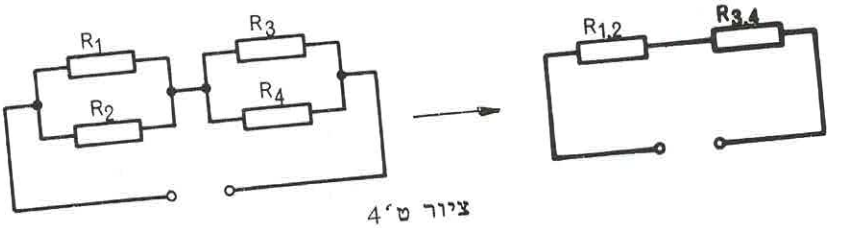
בציור ט'3 מופיע מעגל פשוט בחיבור מעורב. הנגדים R_2 ו- R_3 מחוברים ביניהם במקביל, והתנגדותם השקולה, אותה ננהג לסמן $R_{2,3}$, מחוברת בטור לנגד R_1 .



ציור ט'3

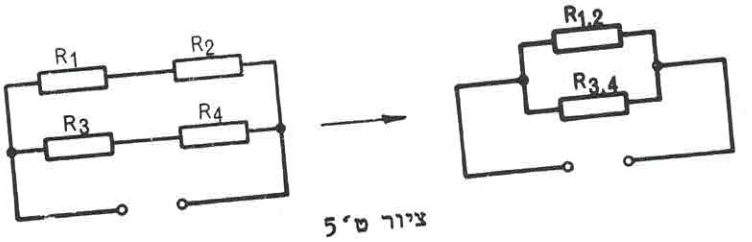
בציור ט'4 מופיע מעגל מעורב אחר, המורכב משתי קבוצות מקבילות, המחוברות ביניהן בטור.

ההתנגדות השקולה של R_1 ו- R_2 היא $R_{1,2}$ וההתנגדות השקולה של R_3 ו- R_4 **היא** $R_{3,4}$.



ציור ט'4

מקרה נוסף מופיע בציור ט'5. כאן אנו רואים שתי קבוצות טוריות מחוברות ביניהן במקביל. ההתנגדות השקולה של R_1 ו- R_2 היא $R_{1,2}$ וההתנגדות השקולה של R_3 ו- R_4 **היא** $R_{3,4}$.

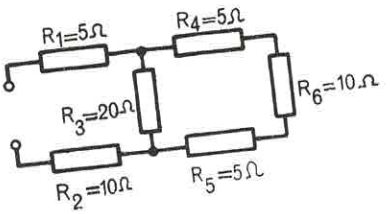


ציור ט'5

אנו רואים, כי קל מאד לפשט מעגל מעורב ולהפכו למעגל טורי פשוט, או מעגל מקבילי פשוט, כדי לחשב את התנגדותו השקולה R_T.

עלינו להחליף כל קבוצה מקבילה או טורית בנגד שקול, עד שנקבל נגד אחד R_T, **שהתנגדותו היא ההתנגדות השקולה של המעגל. חשוב לזכור במקרה זה, כי את החישוב יש להתחיל בנגדים, המרוחקים ביותר ממקור המתח וזאת - כדי למנוע טעות אפשרית.**

דוגמא: **חשב** את ההתנגדות השקולה של **המעגל** שבציור ט'6.

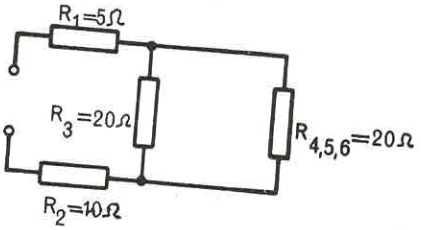


ציור ט'6

הנגדים R_4 R_5 R_6 מחוברים ביניהם בטור והתנגדותם השקולה תהיה:

$$R_{4,5,6} = R_4+R_5+R_6 = 5+5+10 = 20\Omega$$

לכן, המעגל יקבל את הצורה כמתואר בציור ט'7.

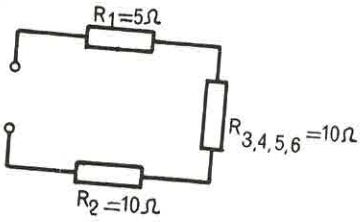


ציור ט'7

הנגדים $R_{4,5,6}$ ו- R_3 מחוברים במקביל ובהיותם שווי התנגדות, התנגדותם השקולה תהיה:

$$R_{3,4,5,6} = \frac{R_3}{2} = \frac{20}{2} = 10\Omega$$

המעגל יקבל עתה את הצורה כפי שמתואר בציור ט'8.

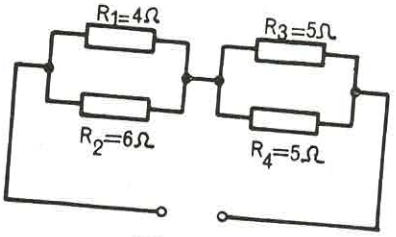


ציור ט'8

אנו רואים, שקיבלנו מעגל טורי פשוט, שהתנגדותו השקולה תהיה:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_{3,4,5,6} = 5+10+10 = 25\Omega$$

דוגמא: חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל המופיע בציור ט'9.



ציור ט'9

נחשב תחילה את ההתנגדות השקולה של כל קבוצה מקבילה בנפרד.

$$R_{1,2} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1+R_2} = \frac{4\times 6}{4+6} = \frac{24}{10} = 2.4\Omega$$

$$R_{3,4} = \frac{R_3}{2} = \frac{5}{2} = 2.5\Omega$$

שני השקולים באים בטור, ומסיבה זו:

$$R_T = R_{1,2} + R_{3,4} = 2.4 + 2.5 = 4.9\Omega$$

חיבור טורי:

$$R_{5,6,7} = R_5 + R_6 + R_7 = 100 + 100 + 100 = 300\Omega$$

חיבור מקבילי:

$$R_{4,5,6,7} = \frac{R_4}{2} = \frac{300}{2} = 150\Omega$$

חיבור טורי:

$$R_{2,3,4,5,6,7} = R_{4,5,6,7} + R_2 + R_3 = 150+50+100 = 300\Omega$$

חיבור מקבילי:

$$R_T = \frac{R_1}{2} = \frac{300}{2} = 150\Omega$$

עוצמת הזרם הכללי:

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{300}{150} = 2A$$

לפי חוק אום:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{300}{300} = 1A$$

לפי חוק הצומת:

$$I_2 = I - I_1 = 2 - 1 = 1A$$

הואיל והענפים R_4 ו- $R_{5,6,7}$ הם שווי התנגדות, הרי הזרם I_2 יתפצל לשני זרמים שווי עוצמה לכן:

$$I_4 = I_5 = \frac{I_2}{2} = \frac{1}{2} = 0.5A$$

לכן: דרך הנגדים R_5 , R_6 , R_7 זורם זרם באותה עוצמה בהיותם מחוברים בטור;

$$I_5 = I_6 = I_7 = 0.5A$$

ולבסוף לפי חוק הצומת:

$$I_3 = I_4 + I_6 = 0.5+0.5 = 1A$$

את מפלי המתח נחשב באמצעות חוק אום:

$$U_1 = U = 300V$$

$$U_2 = I_2R_2 = 1 \times 50 = 50V$$

$$U_3 = I_3R_3 = 1 \times 100 = 100V$$

$$U_4 = I_4R_4 = 0.5 \times 300 = 150V$$

$$U_5 = I_5R_5 = 0.5 \times 100 = 50V$$

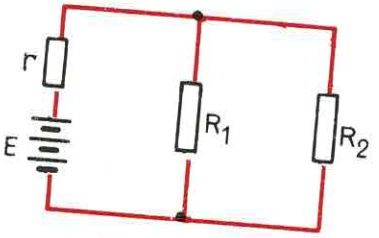
$$U_6 = I_6R_6 = 0.5 \times 100 = 50V$$

$$U_7 = I_7R_7 = 0.5 \times 100 = 50V$$

מעגל חשמלי, הכולל מספר צרכנים, המחוברים ביניהם במקביל, וניזון ממקור מתח בעל התנגדות פנימית, מהווה גם כן חיבור מעורב, הואיל וההתנגדות הפנימית של המקור מופיעה בטור עם קבוצת הצרכנים (ציור ט'14)

ההתנגדות השקולה של מעגל זה תהיה:

$$R_T = r + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



ציור ט'14

דוגמא: שלושה צרכנים שווי התנגדות $R_1=R_2=R_3=4.5\Omega$ מחוברים במקביל למקור מתח בעל כא"מ $E=12V$ והתנגדות פנימית $r=0,5\Omega$.

חשב:

א) את עוצמת הזרם הכללי.

ב) את עוצמת הזרם דרך כל צרכן.

ג) את מפל המתח על כל צרכן.

ד) את מפל המתח הפנימי במקור.

$$R_T = r + R_{1,2,3} = r + \frac{R_1}{3} = 0.5 + \frac{4.5}{3} = 0.5 + 1.5 = 2\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{12}{2} = 6A$$

לפי חוק הצומת:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{I}{3} = \frac{6}{3} = 2A$$

בחיבור מקבילי:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = I_1 R_1 = 2 \times 4.5 = 9V$$

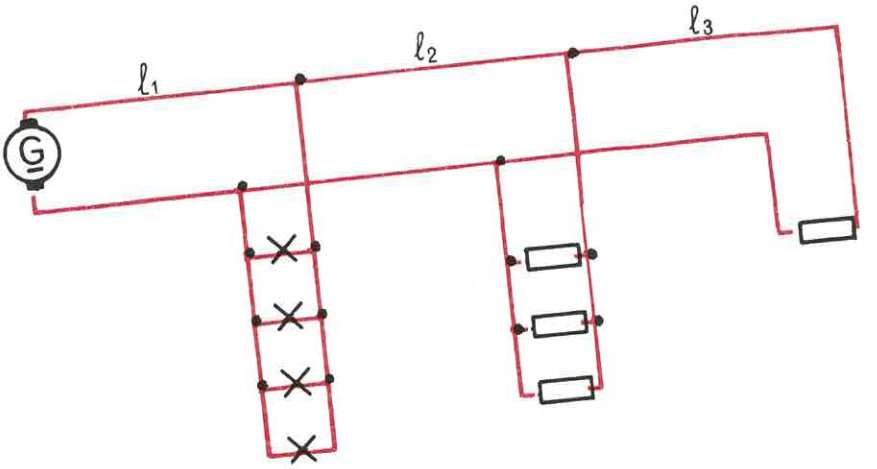
$$\Delta U = Ir = 6 \times 0.5 = 3V$$

ביקורת:

$$E = U + \Delta U \quad ; \quad 12 = 9 + 3$$

רשתות של קבוצות צרכנים

מצויות רשתות חשמל בהן קו חשמלי מספק אנרגיה לקבוצות צרכנים, המרוחקות זו מזו (ציור ט׳15).

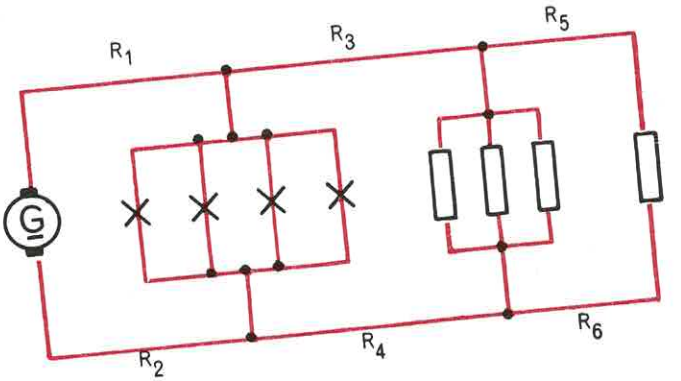


ציור ט׳15

אם מזניחים את התנגדות הקו, מהווה הרשת מעגל מקבילי רגיל, אך אם אין מזניחים את התנגדות הקו, מהווה הרשת חיבור מעורב של צרכנים.

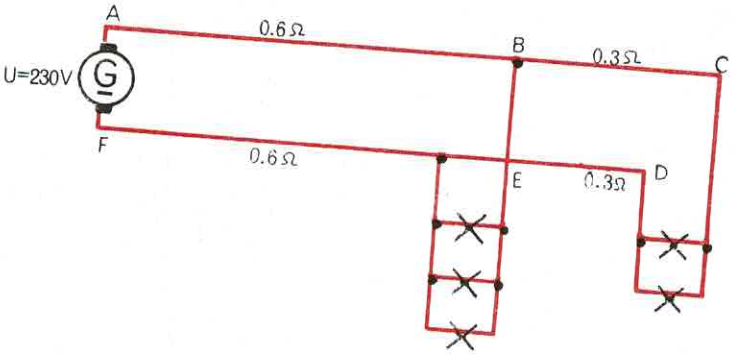
מעגל שוה ערך לרשת שבציור ט׳15 הוא זה שבציור ט׳16.

ההתנגדויות R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, הן התנגדויות המוליכים.



ציור ט׳16

דוגמא: רשת צרכנים לתאורה מורכבת שתי קבוצות של נורות כמתואר בציור ט'17. כל נורה צורכת זרם בעוצמה של 2 אמפר. חשב את מפלי המתח בקווים ואת המתח המסופק לכל אחת מקבוצות הנורות.



ציור ט'17

לפי חוק הצומת, צורכת הקבוצה המרוחקת מהמקור זרם בעוצמה של 4 אמפר והקבוצה הקרובה למקור צורכת זרם בעוצמה של 6 אמפר. אי לכך עוצמת הזרם בקטעי הקו BC ו- ED תהיה 4 אמפר ובקטעי הקו AB ו- FE 10 אמפר. מפלי המתח במוליכים יהיו:

$$U_{AB} = I_{AB} R_{AB} = 10 \times 0.6 = 6V$$

$$U_{FE} = I_{FE} R_{FE} = 10 \times 0.6 = 6V$$

$$U_{BC} = I_{BC} R_{BC} = 4 \times 0.3 = 1.2V$$

$$U_{ED} = I_{ED} R_{ED} = 4 \times 0.3 = 1.2V$$

המתח השורר בין הנקודות BE יהיה:

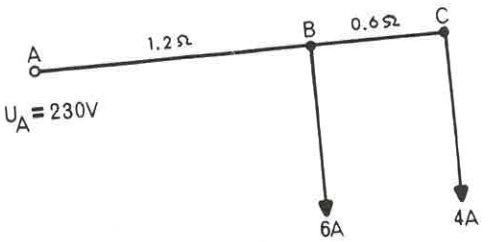
$$U_{BE} = U - U_{AB} - U_{FE} = 230 - 6 - 6 = 218V$$

והמתח השורר בין הנקודות CD יהיה:

$$U_{CD} = U_{BE} - U_{BC} - U_{ED} = 218 - 1.2 - 1.2 = 215.6V$$

מקובל מאד להשתמש בתרשימים מקוצרים לשרטוט תרשימים של רשתות. התרשים המקוצר קרוי ת ר ש י ם ח ד - ק ו ו י.

בציור ט׳18 מופיע תרשים חד-קווי של הרשת שבציור ט׳17.



ציור ט׳18

הנקודה (A) מציינת את מקור המתח (230V). הקטע AB מציין את הקו, המחבר את המקור לקבוצת הצרכנים הראשונה, והקטע BC מציין את הקו המחבר את שתי הקבוצות.

אם נתבונן עתה בתרשים נוכל לראות, כי עוצמת הזרם בקטע BC היא 4 אמפר, ועוצמת הזרם בקטע AB היא 10 אמפר. לכן המתח, המסופק לקבוצת הצרכנים הראשונה יהיה:

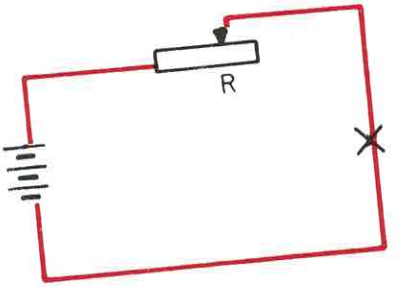
$$U_B = U_A - I_{AB}\ R_{AB} = 230 - 10 \times 1.2 = 230 - 12 = 218V$$

והמתח המסופק לקבוצה השניה יהיה:

$$U_C = U_B - I_{BC}.\ R_{BC} = 218 - 4 \times 0.6 = 218 - 2.4 = 215.6V$$

מחלקי מתוח

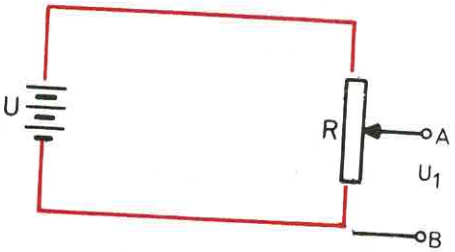
הכרנו עד כה את הראוסטט כנגד משתנה, אשר תפקידו לשנות את עוצמת הזרם במעגל טורי, או לשמש כמפיל מתח (ציור ט׳19).



ציור ט׳19

על ידי שינוי ההתנגדות R, אנו משנים את עוצמת הזרם במעגל, ומפל המתח על גבי הנורה משתנה בהתאם לכך. בחיבור מעין זה רק חלק מהראוסטט פעיל במעגל, פרט למצב בו, הראוסטט מכוון להתנגדות מירבית. במקרה זה כולו פעיל.

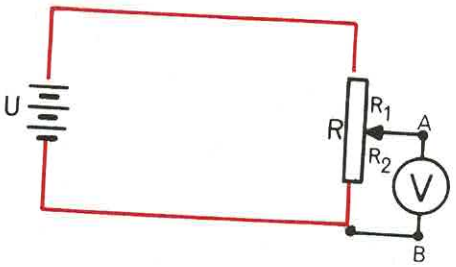
נכיר עתה חיבור אחר של ראוסטט במעגל חשמלי (ציור ט׳20).



ציור ט׳20

בחיבור מעין זה נתון הראוסטט כולו במעגל החשמלי ולא ניתן לשנות באמצעותו את עוצמת הזרם במעגל, אלא את המתח השורר בין הנקודות A ו- B .

נחבר עתה מד-מתח בין הנקודות A ו- B (ציור ט׳21).



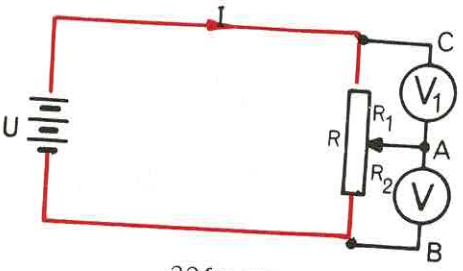
ציור ט׳21

אם נזיז את הזחלן של הראוסטט, מקצה לקצה, ניווכח, שמד-המתח יציין מתחים שונים, הנעים בתחום 0 עד U . אפשר לומר, כי הזחלן מחלק את הראוסטט לשני נגדים R_1 ו- R_2 , המחוברים בטור, אשר את ערכם נוכל לשנות כרצוננו, כאשר התנאי היחידי הוא:

$$R_1+R_2=R$$

נוסיף מד-מתח נוסף, כמתואר בציור ט׳22, ונזיז את הזחלן בהדרגה מקצה לקצה. ניווכח, כי על ידי כך נוכל לשנות את המתחים U_{AB} ו- U_{AC}. כרצוננו, כאשר התנאי היחידי הוא:

$$U_{AB}+U_{AC} = U$$



ציור ט׳22

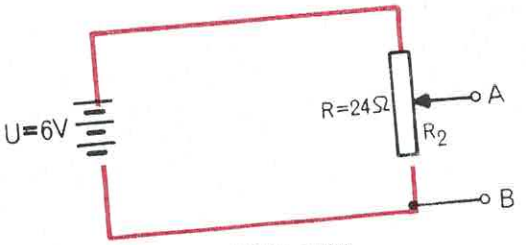
מסיבה זו נהוג לכנות חיבור מעין זה בשם מ ח ל ק מ ת ח.

עוצמת הזרם I במעגל תהיה: $I = \frac{U}{R}$

המתח בין ההדקים A ו- B יהיה: $U_{AB} = IR_2 = \frac{U}{R} R_2$

המתח בין ההדקים A ו- C יהיה: $U_{AC} = IR_1 = \frac{U}{R} R_1$

דוגמא: בציור ט'23 מופיע ראוסטט, המחובר במעגל כמחלק מתח. חשב U_{AB} , כאשר $R_2=16\Omega$.



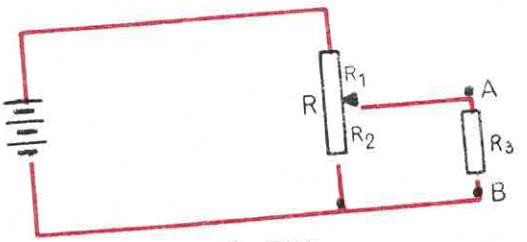
ציור ט'23

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{24} = 0.25A$$

$$U_{AB} = IR_1 = 0.25 \times 16 = 4V$$

משתמשים במחלק מתח כדי להפעיל צרכן במתח נמוך ממתח המקור. מחברים לשם כך את הצרכן בין הנקודות AB , כפי שמתואר בציור ט'24.

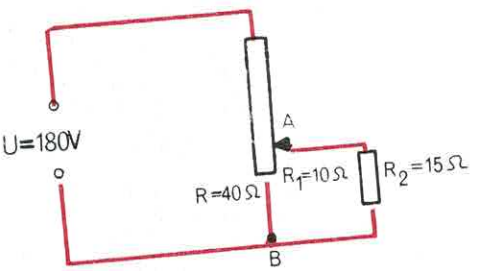
אם התנגדות הצרכן R_3 גבוהה מאד בהשוואה להתנגדות R_2 , המופיעה במקביל, תהיה עוצמת הזרם דרך הצרכן מאד חלשה, ותנאי המעגל לא ישתנו.



ציור ט'24

אם התנגדות הצרכן R_3 אינה גבוהה מאד בהשוואה ל- R_2 , יהיה המעגל המופיע בתרשים שבציור ט'24 מעגל מעורב ויחולו עליו כל הכללים, החלים על מעגל מעורב.

דוגמא: חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R_2 , המסומן בתרשים שבציור ט'25.



ציור ט'25

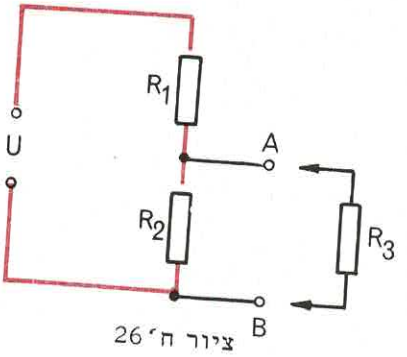
$$R_T=(R-R_1) + \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} = 30 + \frac{150}{25} = 36\Omega$$

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{180}{36} = 5A$$

$$U_{AB} = IR_{1,2} = 5 \times 6 = 30V$$

$$I_{R2} = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{30}{15} = 2A$$

מחלק מתח עשוי להיות מורכב גם מנגדים קבועים ובמקרה זה מהווה המעגל חיבור מעורב רגיל (ציור ט׳26).

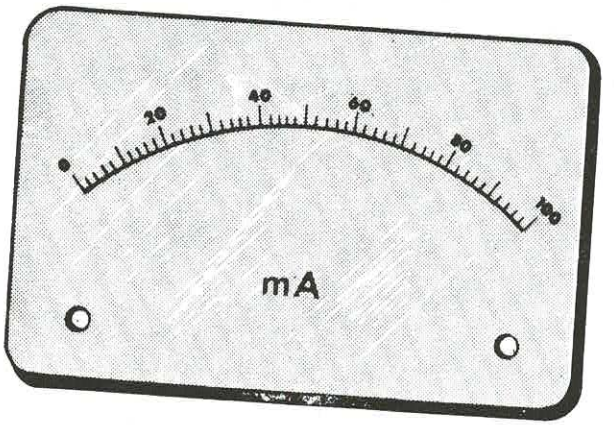


ציור ח׳26

ההבדל העקרוני בין מחלק מתח באמצעות ראוסט ומחלק מתח באמצעות נגדים קבועים הוא בזה שבמחלק מתח באמצעות ראוסט ניתן לשנות את המתח, ובמחלק מתח באמצעות נגדים קבועים – המתח הוא קבוע.

הרחבת טווח המדידה של מד-זרם

כפי שכבר ראינו, מד-זרם במעגל חשמלי מחובר בחיבור טורי, וזאת – על מנת שימדוד את עוצמת הזרם הזורם דרכו. הואיל ומכשיר זה מחובר בטור, הרי ככל שהתנגדותו הפנימית תהיה נמוכה יותר, יכניס שינוי קטן יותר בתנאי המעגל, מפני שמפל המתח עליו יהיה נמוך יותר. ואמנם ההתנגדות הפנימית R_M של מד זרם, נמוכה מאד בהשוואה להתנגדות הצרכנים המחוברים במעגל.

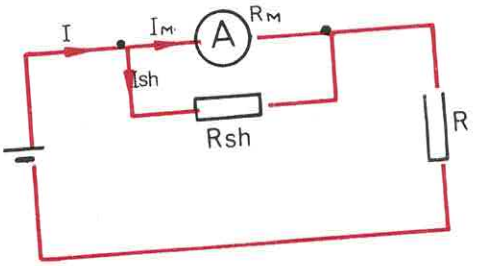


ציור ח׳27

כל מד-זרם מתוכנן למדידת עוצמת זרם מרבית כלשהי הקרויה "עוצמת זרם של הטייה מלאה". הכוונה היא, שבעוצמת זרם זו, סוטה המחוג עד קצה טווח המדידה. בציור ט׳27 מופיע לוח השנתות של מד זרם, בו מתקבלת הטייה מלאה בעוצמת זרם של 100 מיליאמפר.

אם ברצוננו למדוד, באמצעות מד-זרם כלשהו, זרם בעל עוצמה חזקה מזו שבשבילה מתוכנן המכשיר, אנו מחברים, במקביל לו, נגד הקרוי מיצד (שנט). הזרם, הזורם במעגל מתפצל בין מד הזרם והמיצד כך שעוצמת הזרם, הזורם במכשיר לא תעלה על עוצמת הזרם של הטייה מלאה (ציור ט׳28).

הזרם (I) מתפצל, בהתאם לחוק הצומת. בחלקו (I_M) זורם דרך מכשיר המדידה, ובחלקו (I_{sh}) זורם דרך המיצד. אנו רואים, כי מד-זרם, בעל מיצד, המחובר במעגל, הופכו למעגל מעורב.



ציור ט'28

הואיל ומד הזרם והמיצד מחוברים בינם לבין עצמם בחיבור מקבילי, מפל המתח U_M על גבי המכשיר ישווה למפל המתח U_{sh} על גבי המיצד.

אם נסתמך על חוק אום, נוכל לרשום:

$$U_M = I_M R_M$$

$$U_{sh} = I_{sh} R_{sh}$$

והואיל ומפלי המתח הם שווים הרי:

$$I_M R_M = I_{sh} R_{sh}$$

מחלצים את R_{sh} ומקבלים:

$$R_{sh} = \frac{I_M R_M}{I_{sh}}$$

כפי שראינו, לפי חוק הצומת:

$$I = I_{sh} + I_M$$

לכן:

$$I_{sh} = I - I_M$$

אם נציב ביטוי זה בתוך הנוסחא האחרונה נקבל:

$$\boxed{R_{sh} = \frac{I_M R_M}{I - I_M}}$$

R_{sh} – התנגדות המיצד [Ω]

R_M – ההתנגדות הפנימית של מד הזרם [Ω]

I – עוצמת הזרם המירבית אותה מעוניינים למדוד [A]

I_M – עוצמת הזרם של הטייה מלאה [A]

קבלנו, אם כן, נוסחא שבאמצעותה ניתן לחשב את התנגדות המיצד, כאשר מעוניינים למדוד זרם בעל עוצמה מירבית I באמצעות מד זרם, המיועד למדידת זרם בעל עוצמה מירבית I_M ובעל התנגדות פנימית R_M.

דוגמא: באמצעות מד זרם, בעל טווח מדידה של 10 מיליאמפר והתנגדות פנימית של 36 אום, מעוניינים למדוד זרמים בעלי עוצמה מירבית של 100 מיליאמפר. חשב את התנגדות המיצד שיש לחבר למד הזרם.

$$R_{sh} = \frac{I_M R_M}{I - I_M} = \frac{0.01\times 36}{0.1-0.01} = \frac{0.36}{0.09} = 4\Omega$$

דוגמא: מהי עוצמת הזרם המירבית, שניתן למדוד באמצעות מד-זרם, המיועד לטווח מדידה של 1 מיליאמפר והתנגדותו הפנימית היא 54 אום, אם במקביל לו מחובר מיצד שהתנגדותו 6 אום?

כפי שראינו: $R_{sh} = \frac{I_M R_M}{I - I_M}$

נשנה את נושא הנוסחא כדי לחלץ את I ונקבל:

$$I = \frac{I_M R_M}{R_{sh}} + I_M = \frac{0.001\times 54}{6} + 0.001 = 0.009 + 0.001 = 0.01 = 10mA$$

ברור, אם כן, שכדי למדוד באופן ישיר את עוצמת הזרם במעגל, כאשר משתמשים במיצד, עלינו לשנות את לוח השנתות של מכשיר המדידה ולהתאימו לטווח המדידה החדש.

דוגמא: היעזר בנתונים שבדוגמא האחרונה כדי לחשב את עוצמת הזרם במעגל כאשר מד-הזרם מציין 0.4 מיליאמפר.

$$I = \frac{I_M R_M}{R_{sh}} + I_M = \frac{0.0004\times 54}{6} + 0.0004 = 0.0036 + 0.0004 = 0.004 = 4mA$$

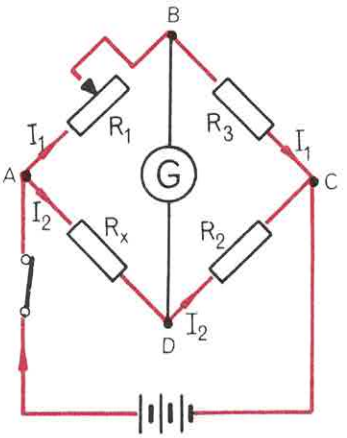
נציב את הנתונים ונקבל: $R_T = \frac{U}{I_M} = \frac{100}{0.001} = 100000\Omega = 100\ K\Omega$

אבל: $R_T = R_M + R_V$ לכן: $R_V = R_T - R_M = 100K - 0.1K = 99.9K\Omega$

גשר וויטסטון

בציור ט׳ 31 מופיע תרשים של מעגל מעורב הקרוי גשר וויטסטון.

הגשר בנוי: מקור מתח, מפסק, ארבעה נגדים ומד זרם עדין מאד הקרוי גלוונומטר (G) ומיועד למדידת עוצמות זרמים חלשים מאד.



ציור ט׳ 31

באמצעות גשר וויטסטון ניתן למדוד התנגדות בלתי ידועה R_x. סדר המדידה הוא הבא: מחברים את הנגד הנמדד R_x בין הנקודות A ו- D. לאחר מכן סוגרים את המפסק, ואז סוטה הגלוונומטר ומציין קריאה מסויימת. משנים את התנגדותו של הנגד המשתנה R_1 עד למצב, בו הגלוונומטר מציין, שאין זרימת זרם בענף שלו. אנו אומרים, כי במצב זה הגשר מאוזן.

אם אין זרימת זרם דרך הגלוונומטר, הרי הסיבה היא שאין הפרש פוטנציאלים בין הנקודות B ו- D. הווה אומר: מפל המתח על גבי הנגד R_x שווה למפל המתח על גבי הנגד R_1, ומפל המתח על גבי הנגד R_3 שווה למפל המתח על גבי הנגד R_2.

נסמן ב- I_1 את עוצמת הזרם, הזורם דרך הנקודה B וב- I_2 את עוצמת הזרם, הזורם דרך הנקודה D ונרשום:

$$U_{AB} = U_{AD} \qquad U_{BC} = U_{DC}$$

לכן:

$$I_1R_1 = I_2R_x \qquad I_1R_3 = I_2R_2$$

מכאן נקבל את היחסים הבאים:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_3} \qquad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_x}{R_1}$$

היות ושני האגפים השמאליים שווים, הרי שגם הימיניים שווים. לכן:

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

נחלץ את R_x ונקבל:

$$\boxed{R_x = \frac{R_2}{R_3} R_1}$$

הנגדים R_2 ו- R_3 הם נגדים קבועים שהתנגדותם ידועה. הנגד R_1 הוא משתנה, שהתנגדותו ידועה בכל מצב ומצב. אי לכך, אם נציב את הנתונים בתוך הנוסחא האחרונה, נוכל לחשב את התנגדותו של הנגד הנמדד R_x .

דוגמא: בגשר וויטסטון שהתרשים שלו נתון בציור ט' 31, ידוע:

$$R_2 = 100\Omega \qquad R_3 = 10\Omega$$

חשב את התנגדותו של הנגד הבלתי ידוע R_x , אם הגשר מאוזן, כאשר הנגד המשתנה נמצא במצב $R_1 = 5.5\Omega$.

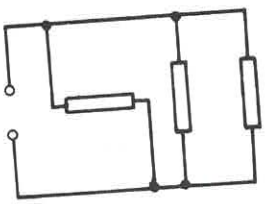
$$R_x = \frac{R_2}{R_3} R_1 = \frac{100}{10} \times 5.5 = 10 \times 5.5 = 55\Omega$$

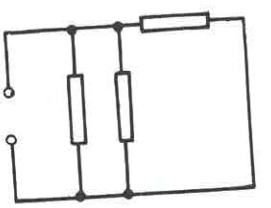
שאלות סיכום ובעיות לפרק ט

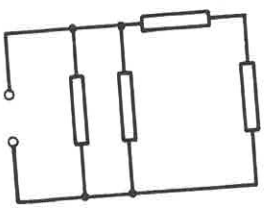
בחן את ידיעותיך

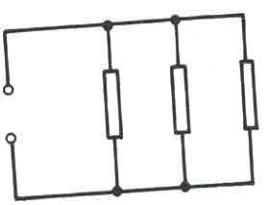
לפניך אוסף שאלות ברירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה, ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות המצויות בסוף הספר כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ט׳1) באיזה מהתרשימים הבאים החיבור הוא מעורב?

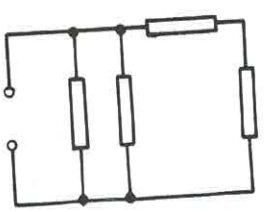
א)


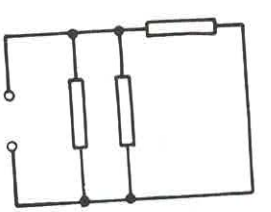
ב)


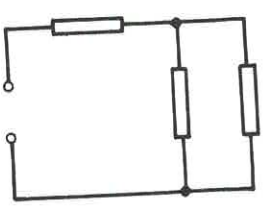
ג)


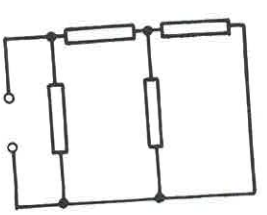
ד)


ט׳2) באיזה מהתרשימים הבאים החיבור אינו מעורב?

א)


ב)


ג)


ד)


ט'3) נגדים בחבור מעורב:

א) בחלקם מחוברים במקביל ובחלקם מחוברים בטור.

ב) בחלקם מחוברים במקביל והשאר גם כן במקביל.

ג) בחלקם מחוברים בטור והשאר גם כן בטור.

ד) כל הנגדים מחוברים או בטור או במקביל.

ט'4) ההתנגדות השקולה של מעגל חשמלי בחיבור מעורב נקבעת לפי:

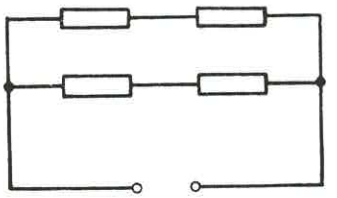
א) עוצמות הזרמים ומפלי המתח במעגל.

ב) אופן החיבור של הנגדים.

ג) ערכו של כל נגד ואופן חיבורם.

ד) עוצמת הזרם ומספר הנגדים המחוברים במקביל.

ט'5) המעגל המופיע בתרשים הוא:



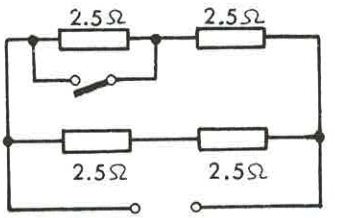
א) מעגל מקבילי.

ב) מעגל טורי.

ג) מעגל מעורב.

ד) אף אחת מהתשובות אינה נכונה.

ט'6) אם נסגור את המפסק המופיע בתרשים, ההתנגדות השקולה:



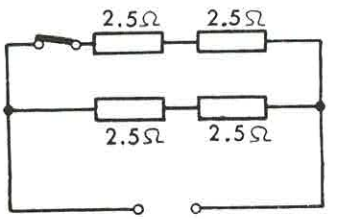
א) תעלה.

ב) תרד.

ג) לא השתנה.

ד) תהיה 2.5 אום.

ט'7) אם נפתח את המפסק שבתרשים, ההתנגדות השקולה:



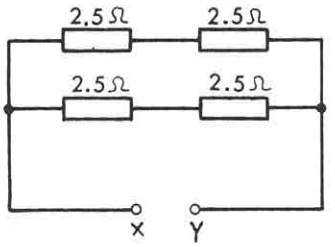
א) תעלה.

ב) תרד.

ג) תהיה שווה לאפס.

ד) תהיה שווה ל-7.5 אום.

ט'8) ההתנגדות השקולה בין הנקודות x ו- y היא:



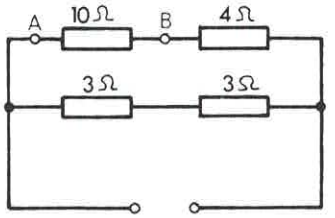
א) 10 אום.

ב) 5 אום.

ג) 2.5 אום.

ד) 0 אום.

ט'9) ההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו- B היא:



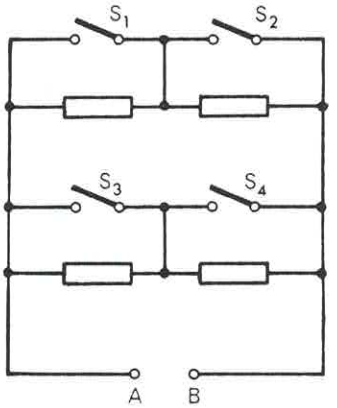
א) 5 אום.

ב) 20 אום.

ג) 10 אום.

ד) 0 אום.

ט'10) על מנת שההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו- B תהיה שווה לאפס מספיק:



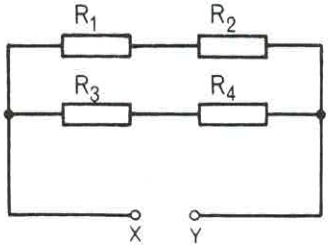
א) שהמפסק S_1 יהיה סגור.

ב) שהמפסקים S_1 ו- S_3 יהיו סגורים.

ג) שהמפסקים S_1 ו- S_2 יהיו סגורים.

ד) כל המפסקים חייבים להיות סגורים.

ט'11) אם ההתנגדות השקולה בין הנקודות x ו- y היא אינסופית (גבוהה עד לאין סוף) הרי:



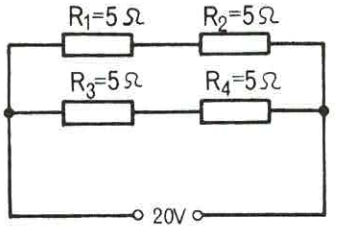
א) אחד הנגדים במעגל מנותק.

ב) הנגדים R_1 ו- R_2 מנותקים.

ג) הנגד R_1 או R_2 מנותק.

ד) הנגדים R_1 ו- R_4 מנותקים.

ט'12) מפל המתח על גבי הנגד R_1 הוא:



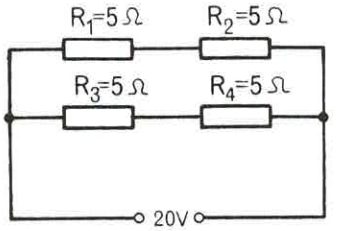
א) 2 וולט.

ב) 4 וולט.

ג) 5 וולט.

ד) 10 וולט.

ט'13) עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R_1 היא:



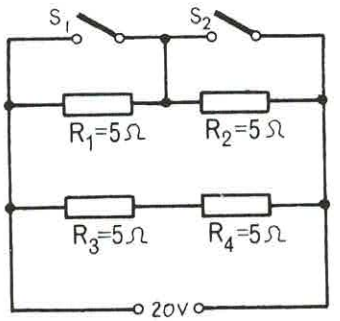
א) 1 אמפר.

ב) 2 אמפר.

ג) 5 אמפר.

ד) 10 אמפר.

ט'14) אם מפל המתח על גבי הנגד R_1 הוא 20 וולט, הרי:



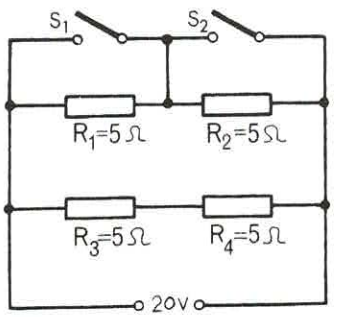
א) המפסק S_2 סגור.

ב) המפסק S_1 סגור.

ג) הנגד R_2 מנותק.

ד) הנגדים R_3 ו- R_4 מנותקים.

ט'15) אם מפל המתח על גבי הנגד R_1 הוא אפס, הרי:



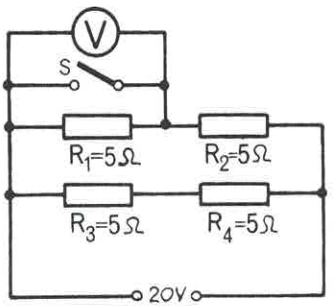
א) הנגד R_1 מנותק.

ב) המפסק S_1 סגור.

ג) הנגד R_2 מנותק.

ד) המפסק S_2 סגור.

ט'16) אם מד-המתח המחובר במעגל מציין 20 וולט, הרי:



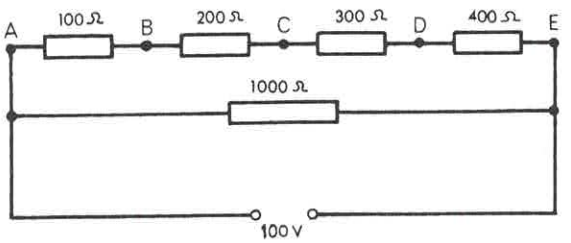
א) המפסק S סגור.

ב) הנגד R_2 מנותק.

ג) הנגד R_1 מנותק.

ד) הנגדים R_3 ו- R_4 מנותקים.

ט'17) בין אלו נקודות מצוי מפל מתח של 50 וולט?



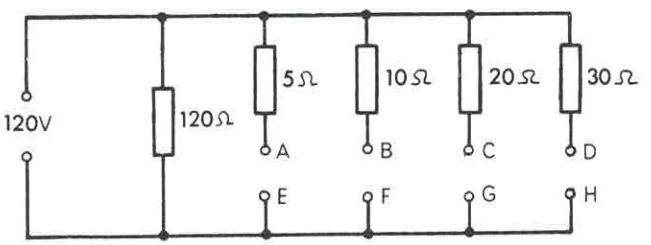
א) A - C

ב) B - D

ג) C - E

ד) D - E

ט'18) בין אלו נקודות תחבר צרכן שהתנגדותו 20 אום ומיועד לזרם בעוצמה של 4 אמפר?



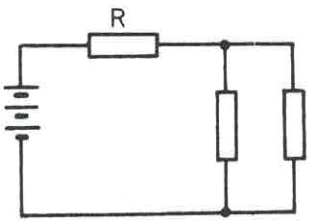
א) A - E

ב) B - F

ג) C - G

ד) D - H

ט'19) אם נקטין את ערכו של הנגד R המופיע בתרשים:



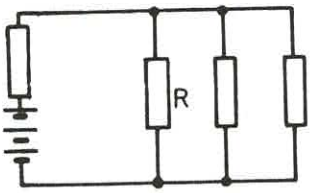
א) ההתנגדות השקולה תקטן.

ב) ההתנגדות השקולה תגדל.

ג) עוצמת הזרם במעגל תקטן.

ד) עוצמת הזרם במעגל לא תשתנה.

ט'20) אם נקטין את ערכו של הנגד R המופיע בתרשים:



א) ההתנגדות השקולה תקטן.

ב) ההתנגדות השקולה תגדל.

ג) עוצמת הזרם במעגל תיקטן.

ד) עוצמת הזרם במעגל לא תשתנה.

ט'21) מד-זרם מחברים:

א) בטור למקור המתח.

ב) בטור לצרכן שאת עוצמת הזרם הזורם דרכו מעוניינים למדוד.

ג) בחיבור מעורב עם הצרכן.

ד) תלוי בסוג הצרכן.

ט'22) התנגדותו הפנימית של מד-זרם צריכה להיות:

א) נמוכה ככל האפשר.

ב) גבוהה ככל האפשר.

ג) אין חשיבות לדבר.

ד) תלוי בחיבורו במקביל או בטור.

ט'23) התנגדותו הפנימית של מד זרם צריכה להיות נמוכה ככל האפשר:

א) כדי שמחירו יהיה נמוך.

ב) כדי למנוע תופעות תרמיות.

ג) כי מחברים אותו בטור לצרכן.

ד) כדי למנוע מפל מתח במכשיר.

ט'24) "עוצמת הזרם של הטייה מלאה" היא:

א) עוצמת הזרם, הנמדדת במעגל.

ב) עוצמת הזרם, הגורמת לקילקול מד-הזרם.

ג) עוצמת הזרם המירבית, אשר מותר להזרים דרך מד הזרם.

ד) עוצמת זרם גבוהה ב-10% מעוצמת הזרם המירבי.

ט׳25) מיצד מחברים:

א) בטור למד הזרם.

ב) במקביל למד הזרם.

ג) או בטור או במקביל.

ד) במקביל, כאשר מודדים זרמים בעלי עוצמה גבוהה, ובטור, כאשר מודדים זרמים בעלי עוצמה נמוכה.

ט׳26) משתמשים במיצד כדי:

א) להאריך את אורך חיי המכשיר.

ב) להגדיל את דיוק המדידה.

ג) לאפשר מדידה של עוצמות זרם נמוכות מעוצמת הזרם של הטייה מלאה.

ד) לאפשר מדידה של עוצמות זרם גבוהות מעוצמת הזרם של הטייה מלאה.

ט׳27) כאשר מחברים מיצד למד זרם, עוצמת הזרם מתחלקת:

א) במדה שווה ביניהם.

ב) ביחס ישר להתנגדויות שלהם.

ג) ביחס הפוך להתנגדויות שלהם.

ד) בכל מקרה עוצמת הזרם במד הזרם תהיה חזקה יותר.

ט׳28) כאשר מחברים מיצד למד-זרם, עוצמת הזרם דרך מד-הזרם תשווה:

א) לעוצמת הזרם אותה מעוניינים למדוד.

ב) לעוצמת הזרם, הזורם דרך המיצד.

ג) לעוצמת הזרם הנמדדת פחות עוצמת הזרם במיצד.

ד) לעוצמת הזרם במיצד פחות עוצמת הזרם הנמדדת.

ט׳29) מפל המתח על-גבי המיצד:

א) שווה למפל המתח על גבי מד-הזרם.

ב) קטן ממפל המתח על גבי מד-הזרם.

ג) גדול ממפל המתח על גבי מד-הזרם.

ד) תלוי במקרה.

ט׳30) **כדי לחשב את מפל המתח על גבי מד-הזרם עלינו:**

א) לכפול את עוצמת הזרם במיצד בהתנגדותו הפנימית של מד-הזרם.

ב) לכפול את עוצמת הזרם במד-הזרם בהתנגדות המיצד.

ג) לכפול את עוצמת הזרם הנמדדת בהתנגדות הפנימית של מד-הזרם.

ד) לכפול את עוצמת הזרם במיצד בהתנגדות המיצד.

ט׳31) **אם מסיבה כלשהי ינותק המיצד של מד הזרם:**

א) מד הזרם יישרף מיד כי עוצמת הזרם הזורם דרכו תהיה חזקה מדי.

ב) מד הזרם יפעל זמן מה ולאחר מכן יישרף.

ג) למד הזרם לא יקרה דבר, והוא ימשיך לפעול.

ד) תלוי בעוצמת הזרם הנמדד.

ט׳32) **אם עוצמת הזרם הנמדד חזקה מעוצמת הזרם של הטייה מלאה, ומסיבה כלשהי ינותק המיצד:**

א) מד הזרם יצא מכלל פעולה.

ב) מד הזרם ימשיך לפעול.

ג) הדבר תלוי במתח המקור.

ד) הדבר תלוי בהתנגדות הצרכנים.

ט׳33) **עוצמת הזרם הנמדדת שווה לעוצמת הזרם של הטייה מלאה, ומד הזרם מציין מחצית ההטייה המלאה. סימן הוא:**

א) שרוב הזרם זורם דרך המיצד.

ב) שמחצית הזרם זורם דרך המיצד.

ג) שהמיצד אינו מחובר כשורה.

ד) שהמיצד לקוי ויש להחליפו באחר.

ט׳34) **מד-מתח מחברים:**

א) במקביל לנקודות המדידה.

ב) בטור לנקודות המדידה.

ג) בחיבור מעורב עם נקודות המדידה.

ד) אופן החיבור תלוי בסוג מד-המתח.

ט׳35) חשוב שהתנגדותו הפנימית של מד-מתח תהיה:

א) גבוהה ככל האפשר.

ב) נמוכה ככל האפשר.

ג) אין חשיבות לדבר.

ד) הדבר תלוי אם מחברים אותו בטור או במקביל.

ט׳36) התנגדותו הפנימית של מד-מתח חייבת להיות גבוהה ככל האפשר:

א) כי מחברים אותו במקביל לנקודות המדידה.

ב) כדי שמפל המתח עליו יהיה מירבי.

ג) כדי להגביל, ככל האפשר את עוצמת הזרם הזורם דרכו.

ד) אין הכרח שהתנגדותו הפנימית תהיה גבוהה.

ט׳37) נגד כופל מחברים:

א) או במקביל או בטור למד-המתח.

ב) במקביל למד-המתח.

ג) בטור עם מד-המתח.

ד) בטור עם מד-המתח, כאשר מודדים מתחים גבוהים.

ט׳38) תפקיד הנגד הכופל זהוא:

א) להאריך את אורך חייו של מד-המתח.

ב) להגדיל את דיוק המדידה.

ג) לאפשר מדידת מתחים נמוכים מאלה המצויינים על גבי לוח השנתות של המכשיר.

ד) לאפשר מדידת מתחים גבוהים מהמתח המירבי, אשר ניתן למדוד באמצעות המכשיר.

ט׳39) עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד הכופל:

א) שווה לעוצמת הזרם, הזורם דרך המכשיר.

ב) גבוהה מעוצמת הזרם, הזורם דרך המכשיר.

ג) נמוכה מעוצמת הזרם, הזורם דרך המכשיר.

ד) דרך מד-המתח אין זורם זרם, הואיל והוא מיועד למדידת מתח.

ט׳40) איזהו המשפט הנכון?

א) כל מד-זרם ניתן להפוך למד-מתח על-ידי הוספת נגד כופל מתאים.

ב) לא ניתן להפוך מד-זרם למד-מתח, כי מד-זרם נועד למדידת עוצמת זרם בלבד.

ג) על-ידי הוספת מיצד הופכים מד זרם למד מתח.

ד) על-ידי הוספת נגד כופל הופכים מד מתח למד זרם.

ט׳41) המתח המירבי, אשר ניתן למדוד באמצעות מד-זרם, ללא כופל:

א) שווה ל-100 וולט.

ב) אינו מוגבל.

ג) תלוי במבנה המכשיר ובמעגל, בו מתבצעת המדידה.

ד) שווה למכפלת ההתנגדות הפנימית של המכשיר בעוצמת הזרם של הטייה מלאה.

ט׳42) בחישוב ערכו של נגד כופל דואגים:

א) שמפל המתח עליו יהיה נמוך ככל האפשר.

ב) שמפל המתח עליו יהיה גבוה ככל האפשר.

ג) שהתנגדותו תשווה להתנגדות הפנימית של מכשיר המדידה.

ד) שעוצמת הזרם, בענף המדידה, לא תהיה גבוהה מעוצמת הזרם של הטייה מלאה של המכשיר.

ט׳43) כדי לחשב את ההתנגדות השקולה של ענף המדידה של מד-מתח, עלינו:

א) לחלק את מתח המקור בעוצמת הזרם הכללי במעגל.

ב) לחלק את מתח המדידה המירבי בעוצמת הזרם של הטייה מלאה, של המכשיר.

ג) לדעת את התנגדותו הפנימית של מכשיר המדידה.

ד) לדעת את מתח המקור ואת עוצמת הזרם של הטייה מלאה.

ט׳44) אם מסיבה כלשהי ינותק הנגד הכופל של מד מתח:

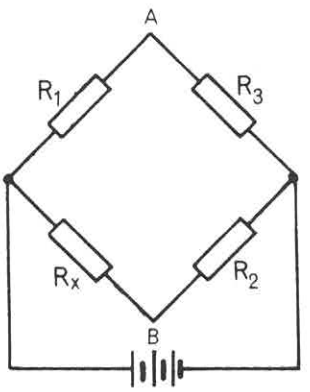
א) יישרף המכשיר מיד.

ב) יפעל המכשיר זמן מה, ולאחר מכן יישרף.

ג) המכשיר לא ינזק, אך המדידה תפסק.

ד) המכשיר לא יינזק וימשיך למדוד.

ט׳45) בתרשים שלפניך, אם אין הפרש פוטנציאלים בין הנקודות B ו- A סימן הוא:



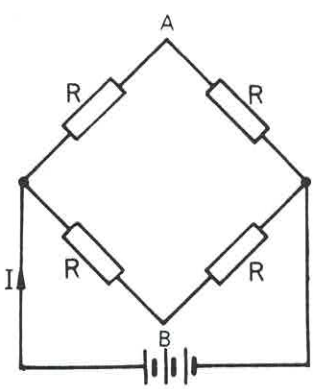
א) שמפלי המתח על הנגדים R_1 ו- R_3 שווים.

ב) שמפלי המתח על הנגדים R_1 ו- R_x שווים.

ג) מצב זה ייתכן רק כאשר אין זרימת זרם דרך הנגדים.

ד) מצב זה ייתכן רק כאשר אחד הנגדים מנותק.

ט׳46) בתרשים שלפניך כל הנגדים שווים. אם נחבר מוליך בין הנקודות A ו- B :



א) עוצמת הזרם I תגבר.

ב) עוצמת הזרם I תיחלש.

ג) דרך המוליך לא יזרום זרם.

ד) דרך המוליך יזרום זרם.

ט׳47) גלוונומטר הוא:

א) מכשיר למדידת התנגדות.

ב) מכשיר למדידת עוצמות זרמים חלשים.

ג) מכשיר למדידת הפרש פוטנציאלים.

ד) מד מתח.

ט׳48) גשר וויטסטון משמש ל-:

א) מדידת התנגדות.

ב) מדידת עוצמת זרם באמצעות גלוונומטר.

ג) השוואת פוטנציאלים בין שתי נקודות.

ד) השוואת התנגדויות.

ט׳49) כאשר הגלוונומטר בגשר וויטסטון מציין אפס:

א) הגשר מאוזן.

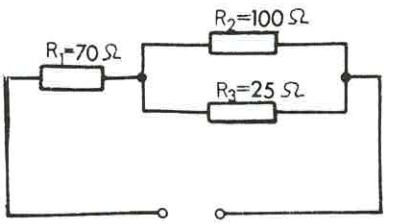
ב) אחד הנגדים ניתק.

ג) הפרש הפוטנציאלים בין הדקיו הוא נמוך.

ד) הגשר מקולקל.

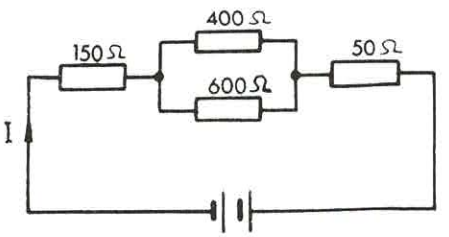
ב ע י ו ת

ט׳1) חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל המופיע בתרשים שבציור ט׳32.



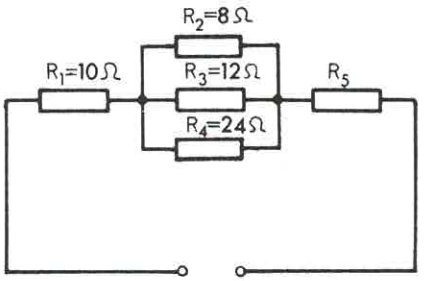
ציור ט׳32

ט׳2) מעוניינים להחליף את הנגדים שבמעגל (ציור ט׳33) בנגד אחד מבלי לשנות את עוצמת הזרם הכללי.
חשב את ערך הנגד.



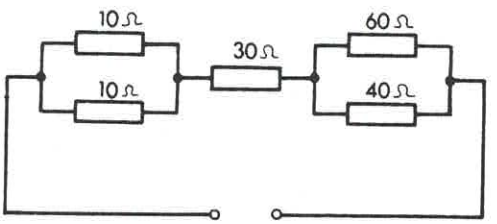
ציור ט׳33

ט'3) ההתנגדות השקולה של המעגל,
המופיע בתרשים שבציור ט'34
היא 24 אום.
חשב את התנגדותו של הנגד R_5 .



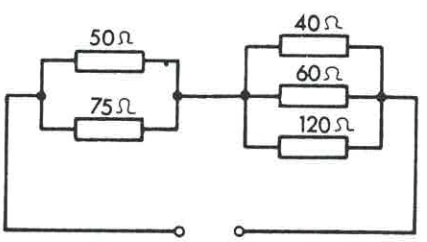
ציור ט'34

ט'4) חשב את ההתנגדות השקולה
של המעגל שבציור ט'35.



ציור ט'35

ט'5) חשב את התנגדותו השקולה
של המעגל שבתרשים המופיע
בציור ט'36.

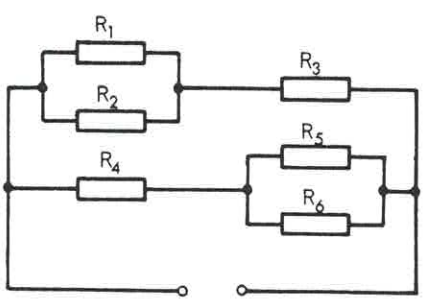


ציור ט'36

ט'6) חשב את ההתנגדות השקולה
של המעגל המופיע בתרשים ט'37.
נתון:

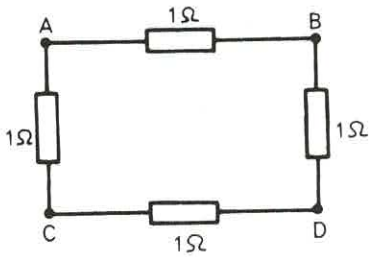
$R_3=40\Omega$ $R_2=75\Omega$ $R_1=50\Omega$

$R_6=120\Omega$ $R_5=60\Omega$ $R_4=30\Omega$



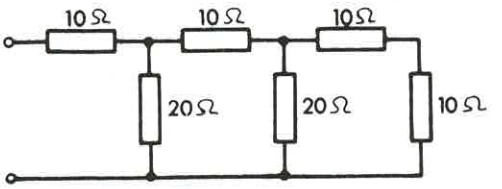
ציור ט'37

ט'7) 4 נגדים שווי התנגדות מחוברים כצלעות רבוע (ציור ט'38).
חשב את ההתנגדות השקולה בין הנקודות CB ואת ההתנגדות השקולה בין הנקודות CD .



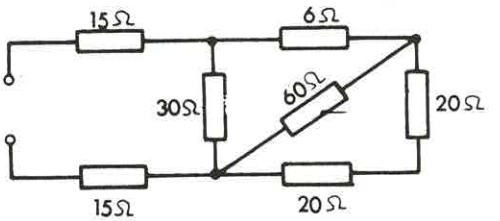
ציור ט'38

ט'8) חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל המופיע בציור ט'39.



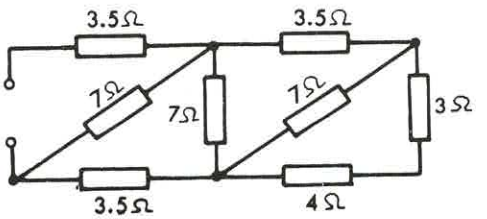
ציור ט'39

ט'9) חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל המופיע בציור ט'40.



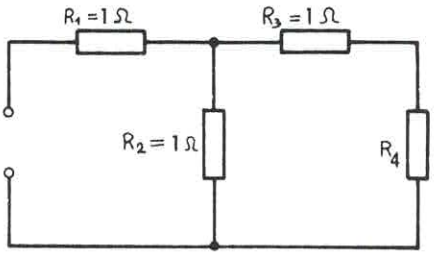
ציור ט'40

ט'10) חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל המופיע בציור ט'41.



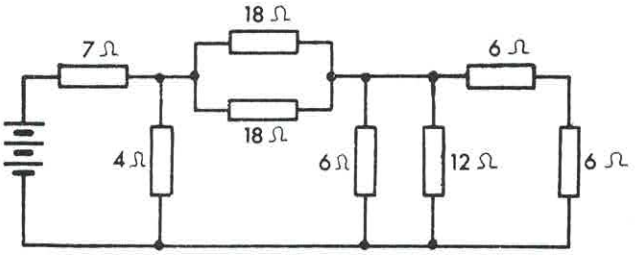
ציור ט'41

ט׳11) ההתנגדות השקולה של המעגל,
המופיע בתרשים שבציור ט׳42,
שווה לערכו של הנגד R_4 .
חשב את ערכו של הנגד R_4 .



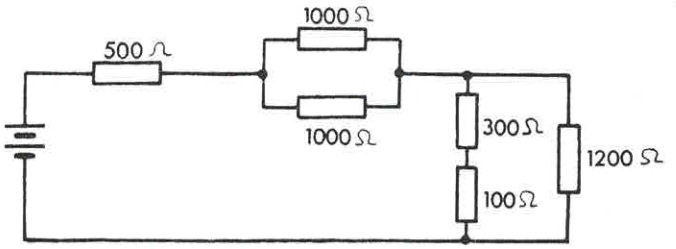
ציור ט׳42

ט׳12) חשב את ההתנגדות השקולה R_T
של המעגל המופיע בתרשים
שבציור ט׳43.



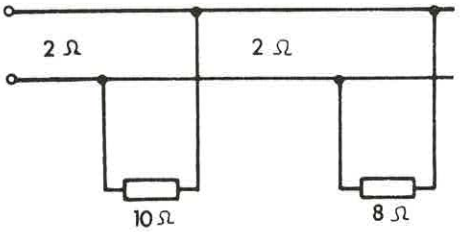
ציור ט׳43

ט׳13) מהי התנגדותו השקולה של
המעגל המופיע בציור ט׳44?



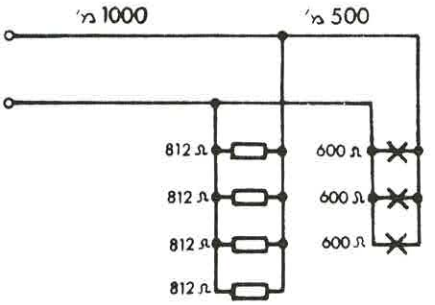
ציור ט׳44

ט'14) בציור ט'45 מופיעה רשת של 2 צרכנים המרוחקים זה מזה. התנגדות כל קטע של הקו היא 2 אום.
חשב את ההתנגדות השקולה.



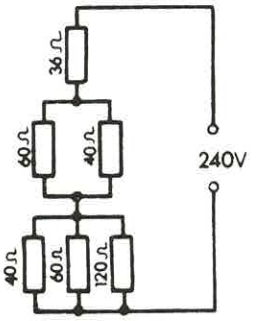
ציור ט'45

ט'15) חשב את ההתנגדות השקולה של הרשת המופיעה בתרשים שבציור ט'46. הקו בנוי מוליכי נחושת בעלי שטח חתך של 6 ממ"ר.
המרחק בין המקור ובין קבוצת הצרכנים הראשונה הוא 1000 מ' והמרחק בין שתי קבוצות הצרכנים הוא 500 מ'.



ציור ט'46

ט'16) חשב את עוצמת הזרם, שמספק המקור למעגל שבתרשים המופיע בציור ט'47.



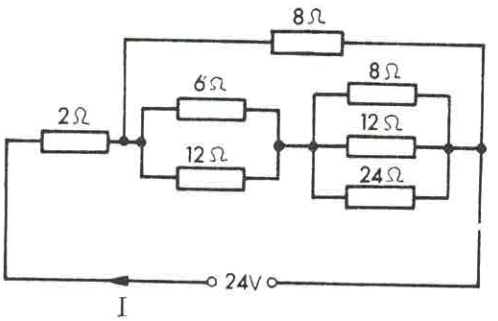
ציור ט'47

ט'23) בהתיחס לתרשים שבציור ט'54 חשב:

א) את ההתנגדות השקולה של המעגל.

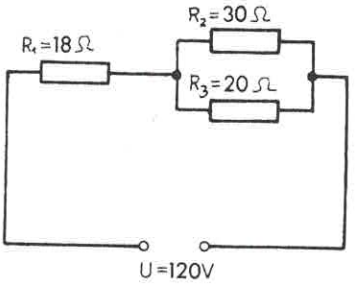
ב) את עוצמת הזרם הכללי.

ג) את ההספק הנצרך על-ידי המעגל.



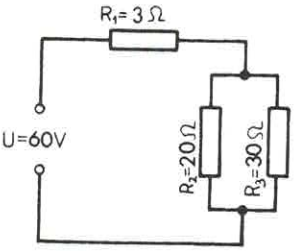
ציור ט'54

ט'24) חשב את עוצמת הזרם בכל אחד מהנגדים שבמעגל המופיע בציור ט'55.



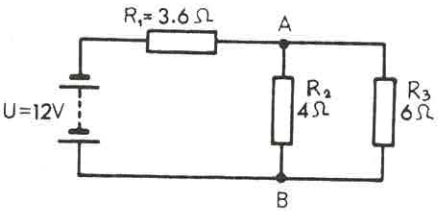
ציור ט'55

ט'25) חשב את עוצמת הזרם ואת ההספק הנצרך על-ידי כל אחד מהנגדים המופיעים בתרשים שבציור ט'56.



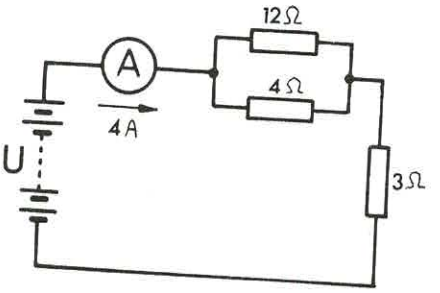
ציור ט'56

ט'26) מהו המתח, השורר בין הנקודות A ו- B המסומנות בתרשים שבציור ט'57.



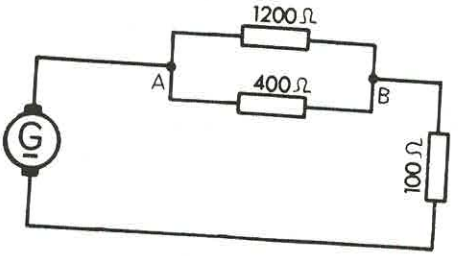
ציור ט'57

ט׳27) מהו מתח המקור (U),
המופיע בציור ט׳58,
אם מד-הזרם מצַיין 4
אמפר.



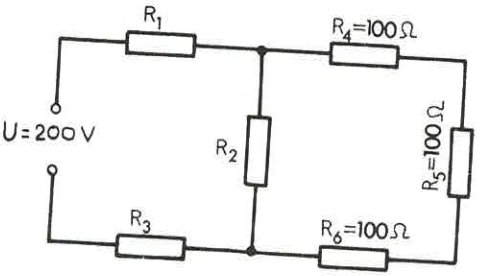
ציור ט׳58

ט׳28) חשב את מפל המתח
בין הנקודות A ו- B,
המסומנות בתרשים
שבציור ט׳59, אם הזרם
הכללי במעגל הוא 2
אמפר.



ציור ט׳59

ט׳29) בהתייחס לציור ט׳60:
מפל המתח על הנגד R_1
הוא 40 וולט ומפל המתח
על הנגד R_3 הוא 100
וולט.
חשב את מפלי המתח על
הנגדים R_2 ו- R_5.

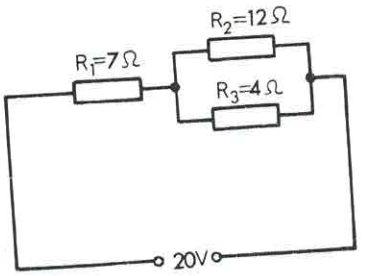


ציור ט׳60

ט'30) בהתייחס לציור ט'61, חשב:

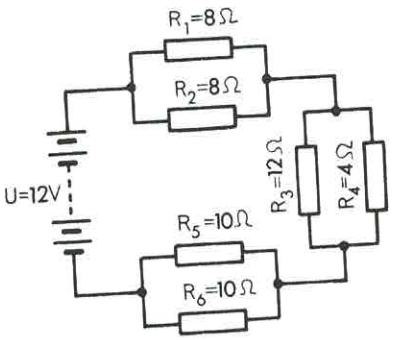
א) את עוצמת הזרם הזורם בכל אחד מהנגדים.

ב) את האנרגיה הנצרכת על-ידי המעגל בפרק זמן של 2 דקות.



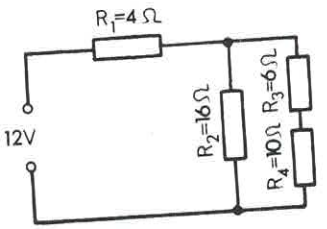
ציור ט'61

ט'31) חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך כל אחד מהנגדים המופיעים בציור ט'62 ואת מפל המתח על כל אחד מהם.



ציור ט'62

ט'32) חשב את עוצמת הזרם ואת מפל המתח על כל אחד מהנגדים המופיעים בתרשים שבציור ט'63.



ציור ט'63

ט'33) בהתייחס למעגל שבציור ט'64
חשב את:

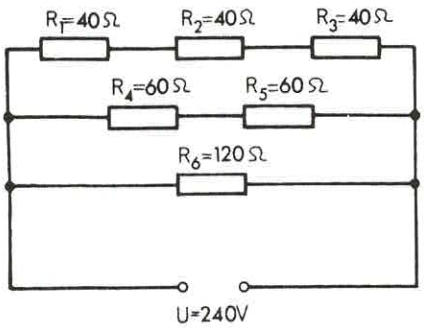
א) עוצמת הזרם בכל נגד.

ב) עוצמת הזרם הכללי.

ג) מפל המתח על כל נגד.

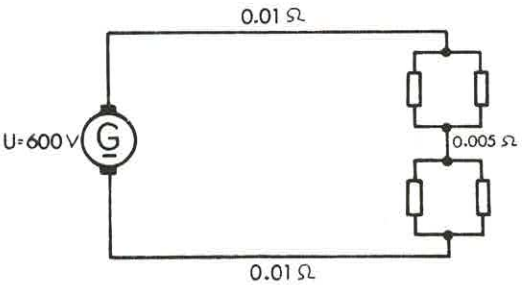
ד) ההספק הנצרך על-ידי כל נגד.

ה) ההספק הכללי הנצרך מהמקור.



ציור ט'64

ט'34) 4 צרכנים זהים מחוברים במעגל, כמתואר בציור ט'65. כל צרכן צורך 400 אמפר. לכל קטע של הקו התנגדות מסוימת הרשומה בתרשים.
תחת איזה מתח פועל כל צרכן?



ציור ט'65

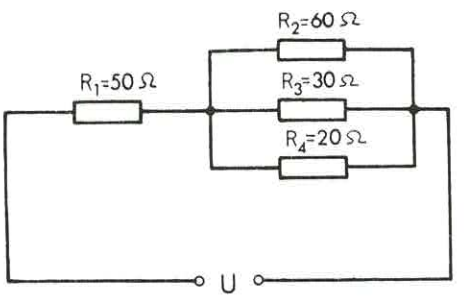
ט'35) בהתייחס למעגל שבתרשים ט'66
חשב:

א) את עוצמות הזרמים הזורמים דרך הנגדים R_2 ו- R_3 .

ב) את עוצמת הזרם הכללי.

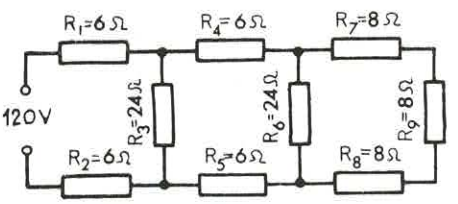
ג) את מתח המקור.

ידוע שעוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R_4 היא 2.25 אמפר.



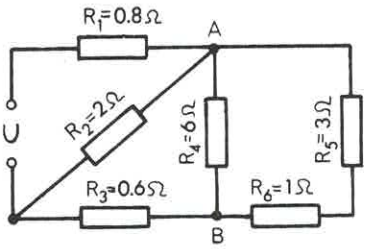
ציור ט'66

ט'36) בהתייחס לתרשים שבציור ט'67, חשב את ההספק הנצרך על-ידי הנגד R_9 .



ציור ט'67

ט'37) בתרשים שבציור ט'68 שורר מתח של 9.6 וולט בין הנקודות A ו- B . חשב את מתח המקור.

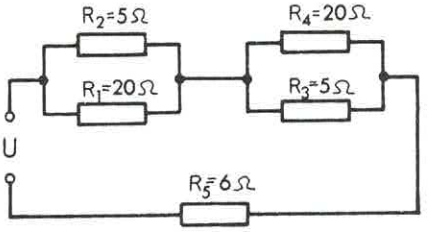


ציור ט'68

ט'38) דרך הנגד R_2 , המופיע בציור ט'69, זורם זרם בעוצמה של 1.6 אמפר. חשב:

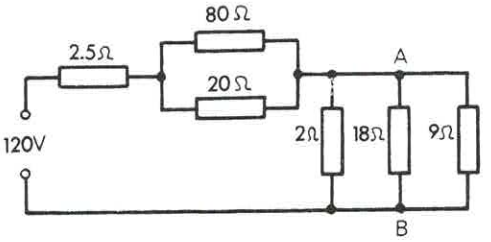
א) את עוצמות הזרמים בנגדים הנותרים.

ב) את מתח המקור.



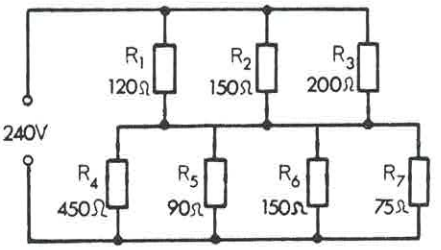
ציור ט'69

ט'39) חשב את מפל המתח בין הנקודות A ו- B המסומנות בציור ט'70 .



ציור ט'70

ט'40) מערכת צרכנים מחוברת לרשת, כפי שמתואר בציור ט'71.
חשב את מפלי המתח על גבי הצרכנים R_2 ו- R_5 ואת עוצמות הזרמים הזורמים דרכם.



ציור ט'71

ט' 41) בהתייחס למעגל הנתון בציור ט' 72 חשב:

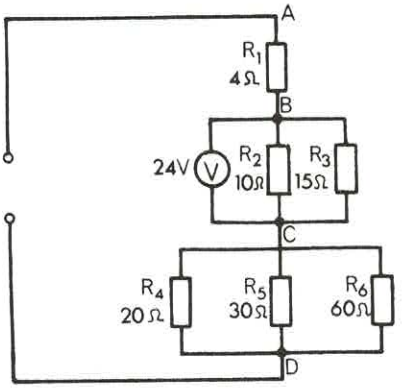
א) את ההתנגדות השקולה.

ב) את הזרם הכללי.

ג) את מפלי המתח U_{AB} ו- U_{CD} .

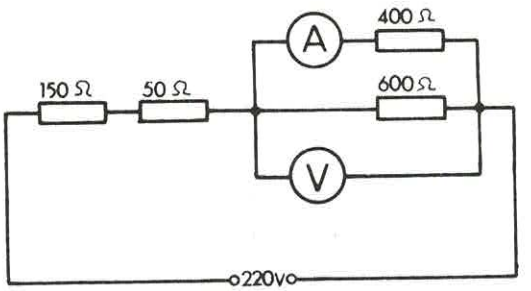
ד) את עוצמת הזרם בכל נגד.

ה) את ההספק הנצרך על ידי המעגל.



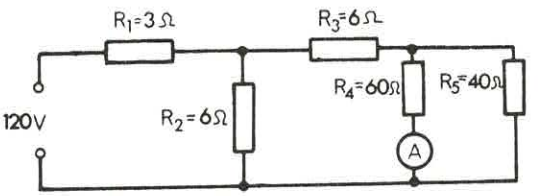
ציור ט' 72

ט' 42) מהם המתח ועוצמת הזרם שמציינים מכשירי המדידה המחוברים במעגל שבציור ט' 73.



ציור ט' 73

ט' 43) איזו עוצמת זרם מציין מד-הזרם המשולב במעגל שבציור ט' 74?



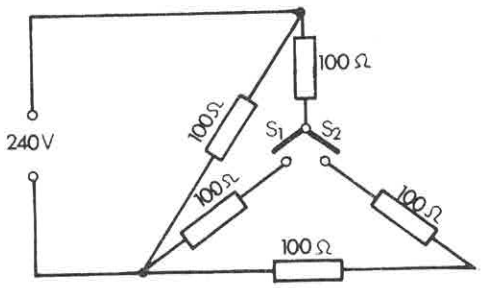
ציור ט' 74

ט'44) חשב את ההספק הכללי הנצרך על-ידי המעגל שבציור ט'75, במקרים הבאים:

א) כאשר המפסק S_1 סגור.

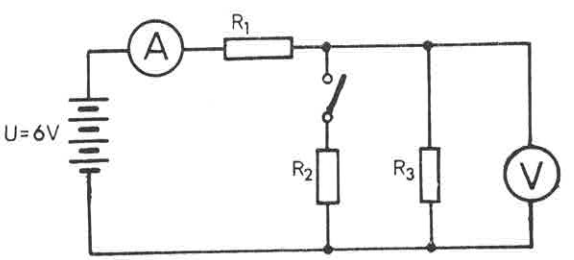
ב) כאשר המפסק S_2 סגור.

ג) כאשר שני המפסקים סגורים.



ציור ט'75

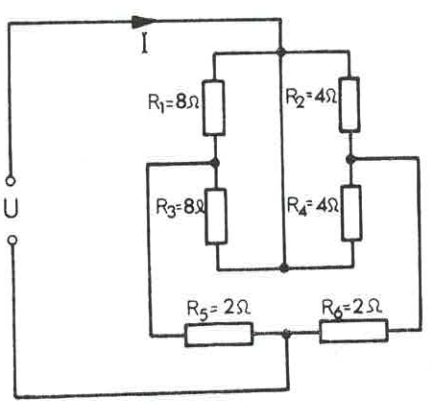
ט'45) בהתייחס לתרשים שבציור ט'76 חשב את ערכי ההתנגדות של הנגדים R_1 R_2 R_3 בשביל תוצאות המדידה הבאות: כאשר המפסק סגור, מד הזרם מציין 1.5 אמפר ומד המתח מציין 4.5 וולט. כאשר המפסק פתוח, מד המתח מציין 4.8 וולט.



ציור ט'76

ט'46) צרכן שהתנגדותו 16 אום מחובר בטור עם שני צרכנים אחרים, המחוברים ביניהם במקביל. התנגדותו של אחד הצרכנים המקבילים היא 48 אום והתנגדותו של השני בלתי ידועה. חשב את התנגדותו הבלתי ידועה של הצרכן, אם ידוע שההספק הנצרך על-ידי המערכת המקבילה שווה להספק הנצרך על-ידי הצרכן שהתנגדותו 16 אום.

ט'47) בציור ט'77 מופיע מעגל המורכב משישה נגדים.
חשב את עוצמת הזרם דרך כל אחד מהנגדים, את עוצמת הזרם הכללי I ואת מתח המקור U, אם ידוע שעוצמת הזרם דרך R_5 היא 8 אמפר.



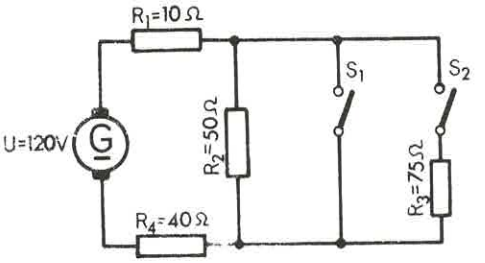
ציור ט'77

ט'48) בהתייחס למעגל המופיע בציור ט'78, חשב את עוצמת הזרם הזורם בכל נגד ואת מפל המתח עליו במקרים הבאים:

א) כאשר המפסק S_2 סגור והמפסק S_1 פתוח.

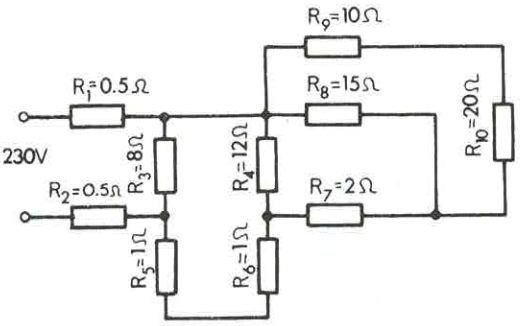
ב) כאשר שני המפסקים פתוחים.

ג) כאשר שני המפסקים סגורים.



ציור ט'78

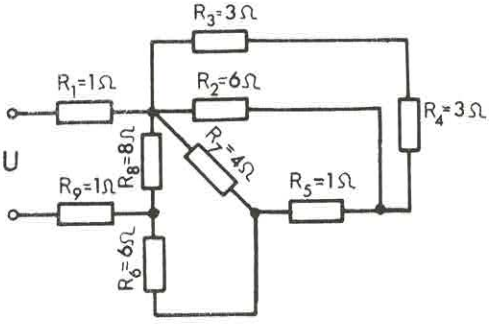
ט'49) חשב את עוצמת הזרם הזורם בכל אחד מהנגדים שבמעגל שבציור ט'79.



ציור ט'79

ט'50) במעגל, המופיע בתרשים שבציור ט'80, חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך כל נגד ואת מתח המקור U.

עוצמת הזרם בנגד R_7 היא 9.16 אמפר.

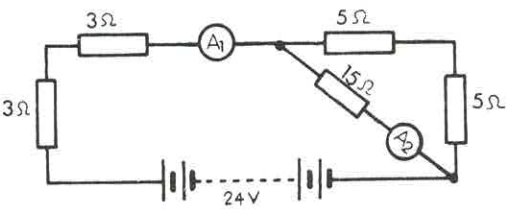


ציור ט'80

ט'51) יש לחבר שלושה גופי חימום בעלי התנגדות של 120 אום, בארבעה אופנים שונים כדי לקבל הספקים שונים. חשב בכל אחד מארבעת החיבורים את ההתנגדות השקולה ואת ההספק, אם מתח הרשת הוא 240 וולט.

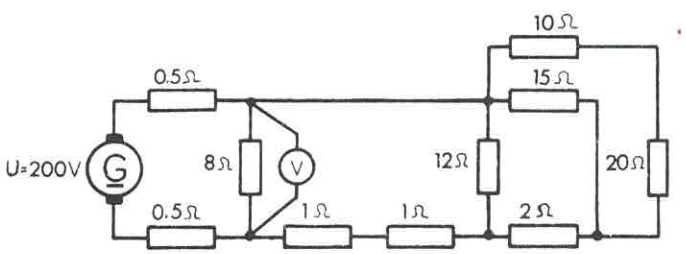
ט'52) 5 צרכנים עליהם רשום 220V/20W מחוברים במקביל לרשת בת 240 וולט.
כדי להבטיח שהמתח על הצרכנים יהיה 220 וולט, נעזרים בנגד טורי.
חשב את התנגדות הנגד הטורי.

ט'53) מהי עוצמת הזרם, שיציין כל אחד ממכשירי המדידה המשולבים במעגל שבציור ט'81.



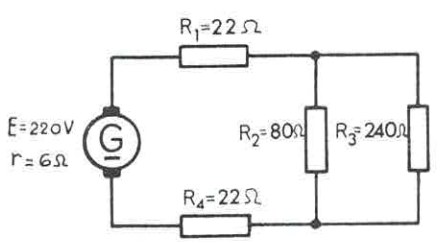
ציור ט'81

ט'54) מהו המתח שיציין מד המתח המשולב במעגל שבציור ט'82.



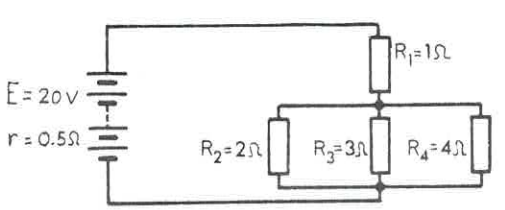
ציור ט'82

ט'55) ארבעה נגדים מחוברים בחבור מעורב למקור מתח בעל כא"מ של 220 וולט והתנגדות פנימית של 6 אום, כמתואר בציור ט'83.
חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך כל נגד ואת מפל המתח עליו.



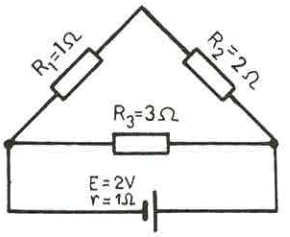
ציור ט'83

ט'56) בהתייחס לציור ט'84 חשב את עוצמת הזרם הזורם בכל נגד.



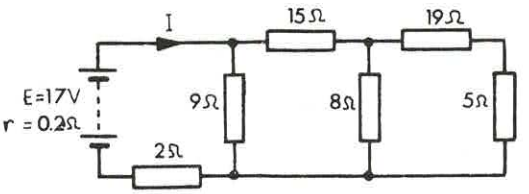
ציור ט'84

ט'57) חשב את עוצמת הזרם הזורם בכל אחד מהנגדים במעגל שבציור ט'85.
חשב כמו כן את מתח הדקי התא.



ציור ט'85

ט'58) חשב את עוצמת הזרם הכללי במעגל, שבציור ט'86, ואת מתח ההדקים של הסוללה.

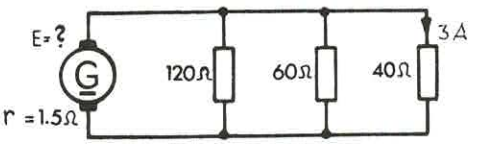


ציור ט'86

ט'59) שלושה נגדים $R_1=12\Omega$ $R_2=6\Omega$ $R_3=4\Omega$ מחוברים במקביל לתא בעל כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית של 1 אום.
מהו המטען, המסופק למעגל על-ידי המקור בפרק זמן של 10 שניות?

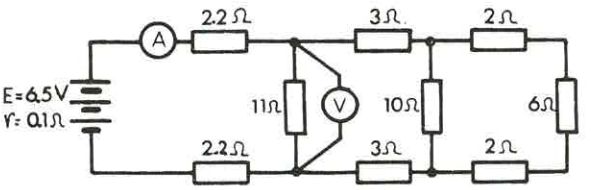
ט'60) 2 נורות בעלות הספק של 40 וט וארבע נורות בעלות הספק של 10 וט, המיועדות למתח 6 וולט, ניזונות ממצבר בעל כא"מ של 6.6 וולט והתנגדות פנימית של **0.015 אום.** חשב את מתח ההדקים של המצבר.

ט'61) חשב את הכא"מ של המקור המופיע במעגל שבציור ט'87.



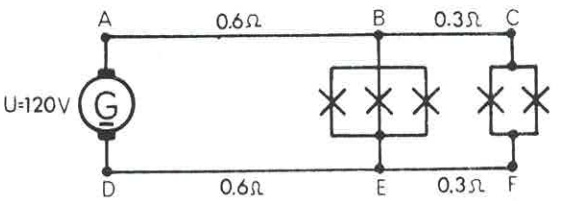
ציור ט'87

ט'62) מה יציינו שני מכשירי המדידה, המשולבים במעגל המופיע בציור ט'88?



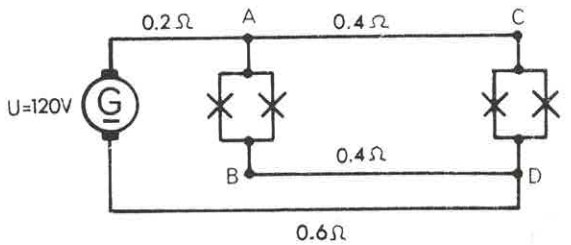
ציור ט'88

ט'63) כל אחת מהנורות, המופיעות ברשת שבציור ט'89, צורכת זרם בעוצמה של 2 אמפר.
חשב:
א) את מפלי המתח U_{AB} , U_{BC} , U_{DE} , U_{EF}
ב) את המתח על כל אחת מקבוצות הנורות.



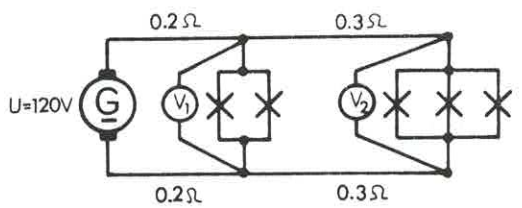
ציור ט'89

ט'64) על מנת שקבוצות של נורות, המרוחקות זו מזו יפעלו באותו מתח, נהגים לחברן לרשת באופן המתואר בציור ט'90.
חשב את המתח על הדקי הנורות, אם כל נורה צורכת זרם של 1.3 אמפר.



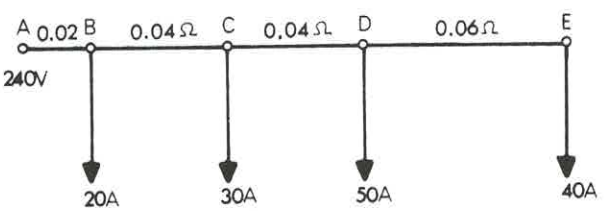
ציור ט'90

ט'65) מהו המתח, שמציין מד המתח (V_2) , המשולב ברשת שבציור ט'91, אם התנגדות כל נורה בקבוצה הקרובה למקור היא 58 אום?
מד המתח (V_1) מציין 116 וולט.



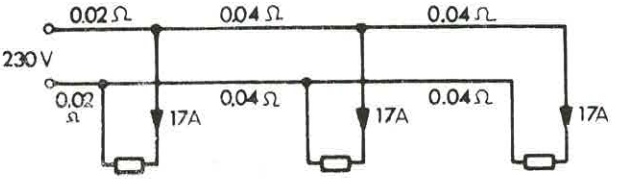
ציור ט'91

ט'66) בציור ט'92 מופיע תרשים של רשת צרכנים. חשב את המתח המפעיל את כל אחד מהצרכנים ואת הפסד ההספק בקווים.



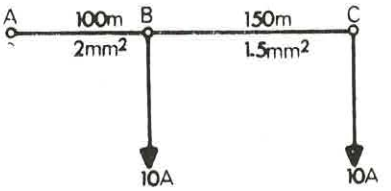
ציור ט'92

ט'67) חשב את המתח, המפעיל את כל אחד מהצרכנים, הניזונים מהרשת שבציור ט'93.



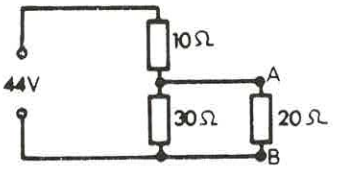
ציור ט'93

ט'68) בתרשים שבציור ט'94 מופיעה רשת צרכנים. הקו עשוי נחושת. חשב את המתח U_A בתחילת הקו, אם המתח בסופו הוא $U_C=200V$.



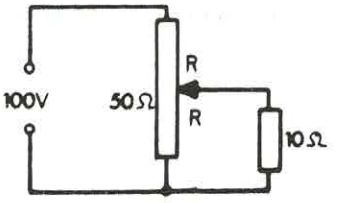
ציור ט'94

ט'69) חשב את המתח השורר בין הנקודות AB המסומנות בתרשים שבציור ט'95.



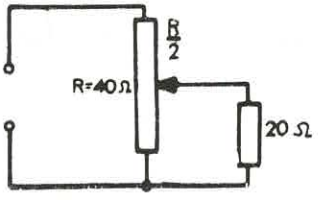
ציור ט'95

ט'70) צרכן שהתנגדותו 10 אום מחובר בין החלון לבין אחת הנקודות הקיצוניות של נגד משתנה, כפי שמתואר בציור ט'96.
מהו המתח על הדקי הצרכן כאשר החלון מחלק את הנגד המשתנה לשתי התנגדויות שוות?



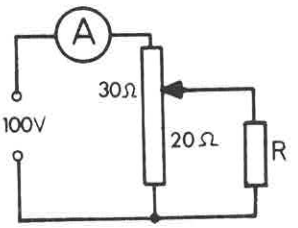
ציור ט'96

ט'71) חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל המופיע בציור ט'97.



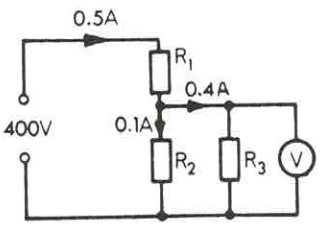
ציור ט'97

ט'72) מד הזרם, המשולב במעגל שבתרשים ט'98, מציין 4 אמפר.
חשב את ערכו של הנגד R .



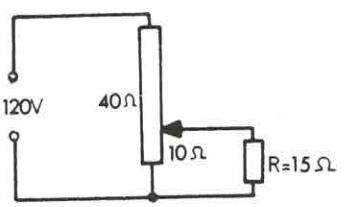
ציור ט'98

ט'73) חשב את התנגדותם של הנגדים R_1 R_2 R_3 המחוברים במעגל שבציור ט'99, אם מד-המתח מציין 180 וולט.



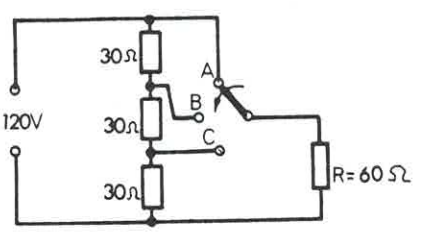
ציור ט'99

ט'74) נגד R שהתנגדותו 15 אום מחובר לנגד משתנה, כפי שמתואר בציור ט'100.
חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R .



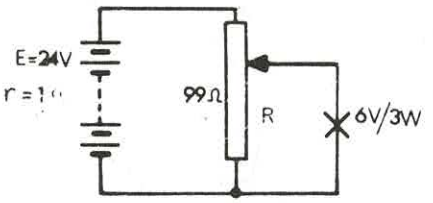
ציור ט'100

ט'75) נגד R מחובר למחלק מתח באמצעות מפסק סיבובי העשוי להימצא בכל אחד משלושת המצבים C,B,A (ציור ט'101).
חשב את ההספק הנצרך על-ידי הנגד R בכל אחד משלושת המצבים.



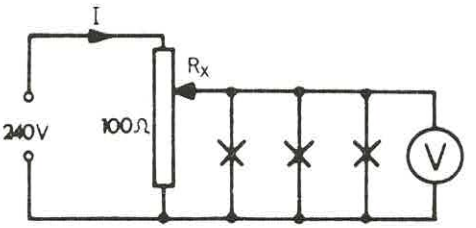
ציור ט'101

ט'76) נורית בעלת נתונים 6V/3W מחוברת לנגד משתנה, כפי שמתואר בציור ט'102.
חשב את ההתנגדות R של קטע הנגד המשתנה, שנמצא במקביל לנורה.



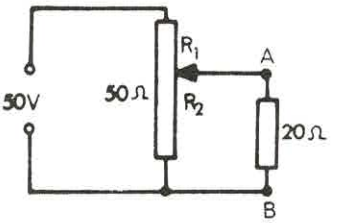
ציור ט'102

ט'77) ההתנגדות השקולה של הנורות, המחוברות במעגל שבציור ט'103, היא 50 אום ומד-המתח מציין 120 וולט.
חשב את התנגדות קטע הנגד המשתנה R_x ואת הזרם הכללי I .



ציור ט'103

ט'78) צרכן שהתנגדותו 20 אום מחובר לנגד משתנה, כפי שמתואר בציור ט'104.
חשב את התנגדויות קטעי הנגד המשתנה R_1 ו- R_2 , אם בין הנקודות AB שורר מתח של 20 וולט.



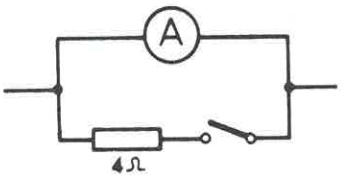
ציור ט'104

ט'79) עוצמת הזרם של הטייה מלאה של מד-זרם היא 25 אמפר התנגדותו הפנימית היא 0.002 אום. חשב את מפל המתח על המכשיר בהטייה מלאה.

ט'80) מד-זרם בעל התנגדות פנימית $R_M = 2\Omega$ מיועד למדידת עוצמות זרמים עד 100 מיליאמפר. חשב את התנגדותו של מיצד שיש לחבר למכשיר כדי לאפשר מדידת עוצמות זרמים עד 0.5 אמפר.

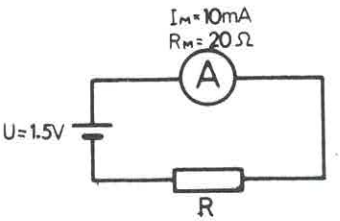
ט'81) מעוניינים להרחיב את טוח המדידה של מד-זרם מ-10 אמפר ל-100 אמפר. חשב את התנגדות המיצד, אם ידוע, שהתנגדותו הפנימית של מכשיר המדידה היא 0.2 אום.

ט'82) בציור ט'105 מופיע מד זרם ובמקביל לו, נגד ומפסק. כאשר המפסק פתוח, מודד מד-הזרם בטוח מדידה של 0.01 אמפר. מה יהיה טוח המדידה כאשר המפסק סגור, אם התנגדותו הפנימית של המכשיר היא 36 אום.



ציור ט'105

ט'83) בציור ט'106 מופיע מעגל ובו משולב מד זרם. מה התנגדותו של הנגד R אם המחוג, במכשיר המדידה, סוטה עד לקצה לוח השנתות.



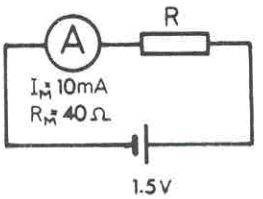
ציור ט'106

ט'84) עוצמת הזרם הגורמת להטייה מלאה של מד זרם היא I_M=0.025A והתנגדותו הפנימית R_M=2Ω

א) איזה מפל מתח על מד-הזרם יגרום להטייה מלאה?

ב) חשב את ערכו של המיצד הדרוש כדי להתאימו למדידה בטוח אמפר אחד.

ט'85) מה התנגדותו של נגד R, אם המחוג של מד הזרם סוטה עד למחצית ההטייה המלאה (ציור ט'107)?



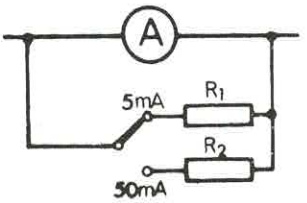
ציור ט'107

ט'86) המחוג של מד-זרם מציין הטייה מלאה, כאשר מפל המתח על המכשיר הוא 0.1 וולט. התנגדותו הפנימית של המכשיר היא 20 אום. חשב:

א) את עוצמת הזרם של הטייה מלאה.

ב) את התנגדות המיצד הדרוש כדי להרחיב את טווח המדידה עד 50 אמפר.

ט'87) בציור ט'108 מתואר מכשיר מדידה לשני טווחי מדידה של 5 מיליאמפר ו-50 מיליאמפר. את המיצדים מחליפים באמצעות מפסק בעל שני מצבים. חשב את התנגדויות המיצדים R_1 ו- R_2.
ידוע שעוצמת הזרם של הטייה מלאה היא $I_M = 1mA$ וההתנגדות הפנימית $R_M = 60\Omega$.



ציור ט'108

ט'88) נתון מד-זרם, שהמחוג שלו סוטה עד לקצה לוח השנתות בעוצמת זרם של 5 מיליאמפר. ההתנגדות הפנימית של מד-הזרם היא 12 אום. הופכים את המכשיר למד מתח על-ידי תוספת נגד טורי. חשב את ערכו של הנגד הטורי, אם מעוניינים למדוד באמצעות מכשיר זה מתחים בתחום 100 וולט.

ט'89) לוולטמטר התנגדות כללית של 500 אום והטייה מלאה של 2 וולט. איזה נגד טורי תוסיף בענף המדידה כדי להרחיב את טווח המדידה ל-100 וולט?

ט'90) התנגדות ענף המדידה של מד-מתח היא 10 000 אום בהיותו מיועד למדוד מתחים בטווח 150 וולט. איזה נגד תוסיף בטור כדי להתאים את המכשיר לטווח מדידה של 450 וולט?

ט'91) מעוניינים להשתמש במד-זרם, בעל עוצמת זרם של הטייה מלאה בשיעור 10 מיליאמפר והתנגדות פנימית של 5 אום, כמד-מתח.

א) איזו התנגדות תוסיף בטור כדי למדוד מתחים בטווח 150 וולט?

ב) איזו התנגדות תוסיף בטור כדי למדוד מתחים בטווח 750 וולט?

ט'92) מד מתח מיועד למדוד מתחים בשני טוחי מדידה. בטווח 150 וולט – התנגדות ענף המדידה היא 18 000 אום.

א) חשב את התנגדות ענף המדידה בטווח השני שהוא 15 וולט.

ב) איזה נגד טורי נוסף תחבר כדי להוסיף טווח נוסף של 300 וולט?

ט'93) למד מתח בעל התנגדות כללית של 5000 אום הוסיפו בטור נגד שהתנגדותו 95 000 אום כדי להתאימו למדידת מתחים בטווח 100 וולט. לאיזה טוח מדידה היה מיועד המכשיר לפני השינוי?

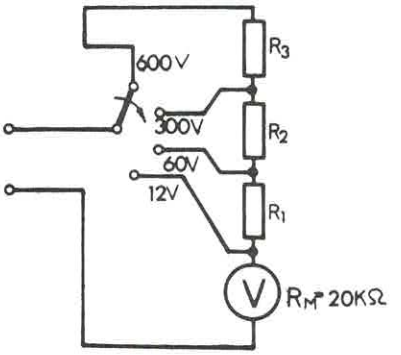
ט'94) המחוג של מד-זרם סוטה עד קצה לוח השנתות בזרם שעוצמתו 0.025 אמפר ובמצב זה מפל המתח עליו הוא 0.075 וולט. איזה נגד תוסיף בטור כדי למדוד מתחים בטווח מדידה של 100 וולט?

ט'95) נתון מד-זרם בעל התנגדות פנימית של 10 אום ועוצמת זרם של הטייה מלאה בשעור 10 מיליאמפר. חשב:

א) איזה מיצד תוסיף למכשיר כדי להרחיב את טוח מדידת הזרם ל-100 מיליאמפר?

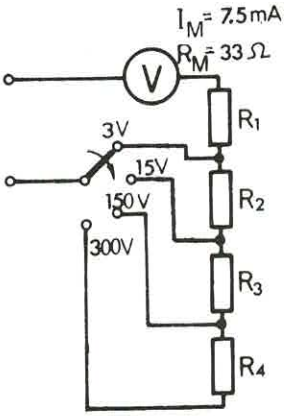
ב) איזה נגד טורי עליך להוסיף כדי להתאים את המכשיר למדידת מתח בטווח 10 וולט?

ט'96) מתקינים מכשיר למדידת מתח במספר טוחי מדידה. נעזרים לשם כך במד מתח ל-12 וולט, בעל התנגדות פנימית של 20 000 אום.
באמצעות מפסק סיבובי מוסיפים התנגדויות שונות בטור כדי להגדיל את טוח המדידה לטווחים 600V , 300V , 60V (ציור ט' 109).
חשב את התנגדותם של הנגדים R_1 R_2 R_3.



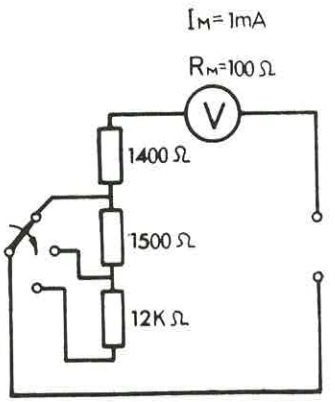
ציור ט'109

ט'97) בציור ט'110 מתואר מכשיר למדידת מתח בארבעה טווחים: 3V , 15V , 150V , 300V .
למד הזרם התנגדות פנימית של 33 אום והוא מיועד למדידת זרם בטווח 7.5 מיליאמפר.
חשב את ערכי ההתנגדות של הנגדים R_1 R_2 R_3 R_4 .



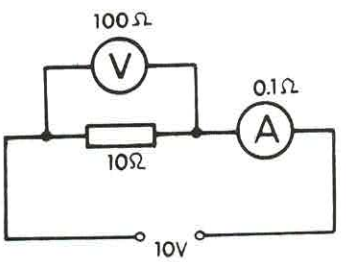
ציור ט'110

ט'98) לאילו תחומי מדידה מתאים המכשיר המופיע בציור ט'111.
לשם חישוב העזר בנתונים המופיעים בתרשים.



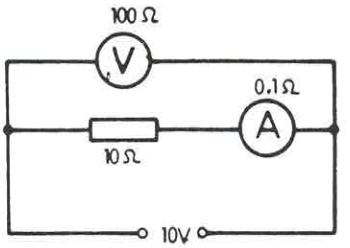
ציור ט'111

ט'99) בחברנו מד-מתח ומד זרם במעגל הם משנים במידת מה את תנאי המעגל, הואיל והתנגדותו הפנימית של מד הזרם אינה אפסית, והתנגדותו של מד-המתח אינה גדולה עד לאין סוף.
בהתייחס לציור ט'112, מה יציין כל אחד מהמכשירים?



ציור ט'112

ט׳100) מה יציין כל אחד מהמכשירים המחוברים במעגל המתואר בציור ט׳113?



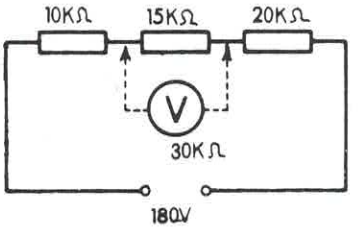
ציור ט׳113

ט׳101) בהתייחס למעגל המופיע בציור ט׳114 חשב:

א) את מפל המתח על כל אחד מהנגדים.

ב) מהו המתח שימדוד מד-מתח, אם נעבירו מנגד לנגד.

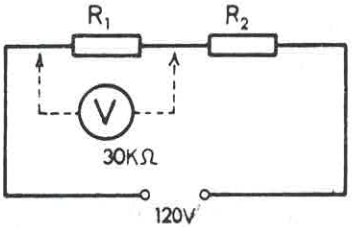
התנגדותו הכללית של מד-המתח היא 30 000 אום.



ציור ט׳114

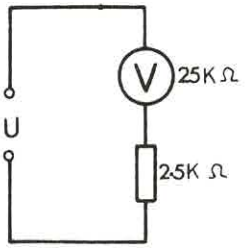
ט׳102) שני נגדים בלתי ידועים מחוברים בטור למקור מתח (ציור ט׳115). מודדים את מפל המתח על כל נגד בנפרד באמצעות מד-מתח בעל התנגדות פנימית של 30 000 אום. בשני המקרים מד המתח מציין 48 וולט.

חשב את התנגדותם של R_1 ו- R_2.



ציור ט׳115

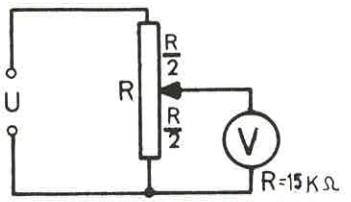
ט'103) כדי למדוד מתח, העולה על 250 וולט, השתמשו במד-מתח, המיועד לטווח מדידה של 250 וולט ובעל התנגדות פנימית של 25 000 אום, על-ידי הוספת נגד טורי של 2500 אום (ציור ט'116).



ציור ט'116

מהו המתח U הנמדד אם מד-המתח מציין 240 וולט?

ט'104) מד המתח, המופיע בציור ט'117, מציין 60 וולט, כאשר הזחלן מחלק את הנגד המשתנה לשני חלקים שווי התנגדות. אותו מד-מתח בהיותו מחובר בין הדקי המקור מציין U=240V. חשב את התנגדותו R של הנגד המשתנה.



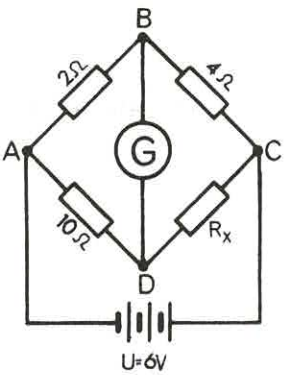
ציור ט'117

ט'105) הגשר, המופיע בציור ט'118, נמצא במצב של איזון. חשב:

א) את ההתנגדות R_x של הנגד הנמדד.

ב) את מפל המתח U_{BC}.

ג) את מפל המתח U_{CD}.

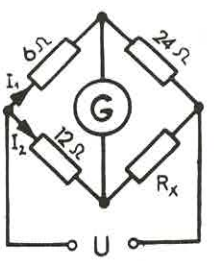


ציור ט'118

ט'106) הגלוונומטר המופיע בציור ט'119 מציין 0.

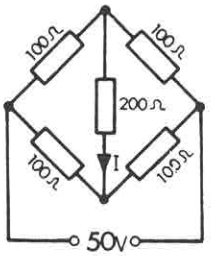
א) חשב את R_x.

ב) חשב את עוצמות הזרמים I_1 ו- I_2 כאשר U=10V.



ציור ט'119

ט'107) מה תהיה עוצמת הזרם I בענף שהתנגדותו 200 אום (ציור ט'120).

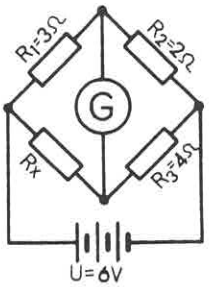


ציור ט'120

ט'108) הגשר, המתואר בציור ט'121, נמצא במצב של איזון. חשב:

א) את ההתנגדות השקולה של הגשר.

ב) את עוצמת הזרם בכל אחד מהנגדים.



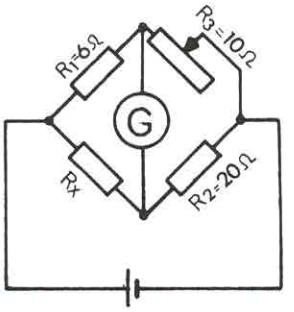
ציור ט'121

ט'109) בהתייחס לגשר המאוזן, המופיע בציור ט'122, חשב:

א) את התנגדות הנגד הנמדד R_x

ב) מחברים במקביל ל- R_x , נגד שהתנגדותו 6 אום.

כמה צריכה להיות התנגדותו של הנגד R_3 , כדי שנחזור למצב של איזון, אם R_1 ו- R_2 נשארים קבועים?



ציור ט'122

פרק י – חיבור תאים ומקורות מתח, סוללות

התא החשמלי הוא מקור מתח, הפועל לפי עקרון התופעה האלקטרוכימית.

כפי שראינו בפרק ד׳, מורכבים סוללות ומצברים תאים בודדים. אנו נראה בפרק זה, כי מצויות דרכים שונות לחבר תאים בודדים, נכיר את סוגי החיבורים ונראה, מתי משתמשים בכל סוג של חיבור.

באשר למבנה התא ועיקרון פעולתו נלמד בפרק מיוחד, הדן בנושא זה.

התנהגות תא בודד במעגל חשמלי

נחבר תא בודד לנגד משתנה, כמתואר בציור י׳1. התא הוא בעל כא"מ E והתנגדות פנימית r.

ציור י׳1

עוצמת הזרם במעגל תלויה בכא"מ E, בהתנגדות הפנימית r ובהתנגדות הנגד המשתנה R. נוכל לרשום:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

הואיל והכא"מ וההתנגדות הפנימית של התא הם קבועים, הרי שניתן לשנות את עוצמת הזרם במעגל על-ידי שינוי הנגד R בלבד.

ככל שנקטין את ההתנגדות R, כן תגדל עוצמת הזרם במעגל, וכאשר R=0, תהיה עוצמת הזרם I = E/r. אנו רואים, כי קיים גבול לצריכת זרם מתא חשמלי, התלוי בהתנגדות הפנימית שלו. ככל שההתנגדות הפנימית נמוכה יותר, ניתן לצרוך מהתא עוצמת זרם מירבית גבוהה יותר.

למעשה, אין לצרוך מתא חשמלי זרם בעוצמה כה גבוהה כדי למנוע בלאי מהיר, הואיל ועוצמת הזרם המירבית, שמותר להעביר דרך התא, היא נמוכה מזו שהוא עשוי לספק.

דוגמא: הכא"מ של תא חשמלי הוא 1.5 וולט והתנגדותו הפנימית 0.1 אום.
מהי עוצמת הזרם המירבית שניתן לצרוך מתא זה?

$$I = \frac{E}{r} = \frac{1.5}{0.1} = 15A$$

ככל שתא חשמלי מתיישן, גדלה התנגדותו הפנימית. כתוצאה מכך גדל מפל המתח הפנימי, בעת צריכת זרם, ומתח ההדקים שלו יורד.

כאשר מתח הדקיו של תא יורד מתחת למתח, הדרוש להפעלת הצרכן i. יבר אליו, אנו מחליפים אותו באחר.

כדי לבדוק תא חשמלי, נעזרים במד-מתח, אך כלל בל יעבור הוא למדוד את מתח הדקי התא בהיותו מחובר במעגל. אם נבצע את המדידה מחוץ למעגל, כאשר אין צריכת זרם, נמדוד את הכא"מ, ומדידה זו עלולה להטעותנו.

הקיבול של תא חשמלי

בתא חשמלי עצורה אנרגיה, ובהיותו מחובר במעגל חשמלי הוא מ ת פ ר ק ומוסר את האנרגיה לצרכן.

המטען, או במילים אחרות כ מ ו ת - ה ח ש מ ל, אשר ניתן להפיק מתא חשמלי תלויה ב ק י ב ו ל התא. קיבל התא אינו אלא מכפלת עוצמת הזרם, שצורכים ממנו במשך זמן הפריקה, עד לפריקתו הגמורה.

ככל שקיבל התא גדול יותר, גדולים גם האנרגיה העצורה בו וכמות החשמל, שניתן להפיק ממנו. הוה אומר שניתן לצרוך ממנו עוצמות זרם גבוהות יותר באותו פרק זמן, או להשתמש בו במשך פרק זמן ארוך יותר באותה עוצמת זרם.

נוהגים לסמן את הקיבול באות (Q) ולמדוד את הקיבול ביחידות אמפר-שעות [Ah] . הואיל הקיבול נמצא ביחס ישר לעוצמת הזרם (I) , אשר צורכים מהתא, וביחס ישר למשך

זמן הפעולה (t) , עד לפריקה הגמורה - נוכל לרשום:

$$Q = It$$

Q : קיבול התא, באמפר-שעות [Ah]

I : עוצמת הזרם, באמפרים [A]

t : משך זמן הפעולה, בשעות [h]

אם ברשותנו תא שקיבולו 10Ah , הרי שמכפלת עוצמת הזרם, שאנו צורכים ממנו באמפרים, במשך זמן הפעולה האפשרי בשעות, תהיה שווה ל-10.

דוגמא: מה קיבולו של תא, אשר סיפק לצרכן זרם בעוצמה של 0.5 אמפר במשך 8 שעות, עד לפריקתו הגמורה?

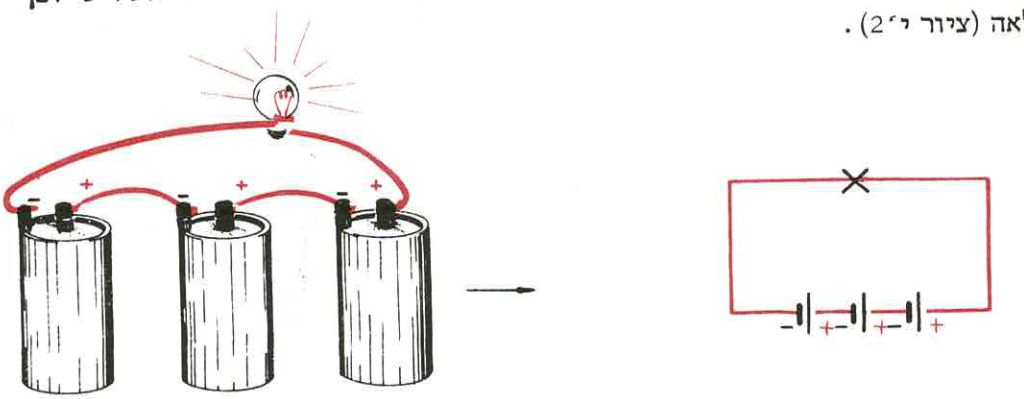
$$Q = It = 0.5 \times 8 = 4Ah$$

דוגמא: קיבולו של תא הוא 1Ah . תא זה מספק זרם בעוצמה של 100 מיליאמפר לצרכן. מה יהיה אורך חייו של התא?

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{1}{0.1} = 10h$$

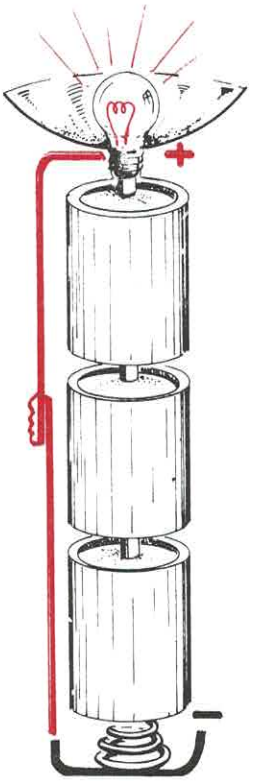
חיבור טורי של תאים - סוללה טורית

אנו מחברים תאים בטור, כאשר אנו מעוניינים בכא"מ יותר גבוה מאשר הכא"מ של תא בודד. בחיבור טורי אנו מחברים את הקוטב החיובי של התא הראשון אל הקוטב השלילי של התא השני, את הקוטב החיובי של התא השני אל הקוטב השלילי של התא השלישי וכן הלאה (ציור י'2).



ציור י'2

בפנסי כיס מחוברים התאים בטור, כפי שמתואר בציור י'3.



ציור י'3

הכא"מ השקול של סוללת תאים טורית.

הכא"מ השקול של סוללה טורית שווה לסכום הכחות-האלקטרו-מניעים של התאים הבודדים.

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots$$

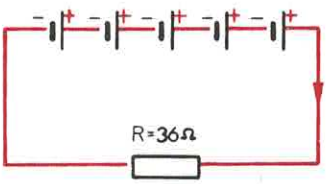
התאים יכולים להיות בעלי כא"מ שונה או כא"מ שווה.
אם ברשותנו n תאים בעלי כא"מ E_1 ואנו מרכיבים מהם סוללה טורית, הכא"מ השקול E יהיה: $E = nE_1$

דוגמא: מה יהיה הכא"מ השקול של סוללה טורית, המורכבת משש תאים שווים בעלי כא"מ של 1.5 וולט?

$$E = nE_1 = 6 \times 1.5 = 9V$$

דוגמא: ששה תאים שווים בעלי כא"מ של 1.5 וולט מחוברים בטור עם נגד שהתנגדוו 36 אום (ציור י'4).
חשב את עוצמת הזרם במעגל בהזנחת ההתנגדויות הפנימיות של התאים.

$$I = \frac{nE_1}{R} = \frac{6\times1.5}{36} = \frac{9}{36} = 0.25A$$



ציור י'4

אם נחבר בטעות את אחד התאים בקוטביות הפוכה, יבטל הכא"מ שלו את הכא"מ של אחד התאים האחרים, והכא"מ השקול של הסוללה יהיה נמוך יותר.

דוגמא: ששה תאים, בעלי כא"מ של 1.5 וולט, חוברו בטור. בטעות חובר אחד התאים בקוטביות הפוכה. חשב את הכא"מ השקול של הסוללה.

$$E = 5E_1 - E_1 = 4E_1 = 4 \times 1.5 = 6V$$

ההתנגדות הפנימית השקולה של סוללת תאים טורית.

הואיל והתאים מחוברים בטור, גם ההתנגדויות הפנימיות שלהם מחוברות בטור, לכן נוכל לרשום:

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + \ldots$$

אם מחברים בטור תאים בעלי התנגדויות פנימיות (r_1) שוות תהיה ההתנגדות השקולה:

$$\boxed{r = nr_1}$$

דוגמא: חשב את ההתנגדות הפנימית השקולה של סוללת תאים טורית, המורכבת מארבעה תאים בעלי התנגדות פנימית של 0.05 אום.

$$r = nr_1 = 4 \times 0.05 = 0.2\Omega$$

דוגמא: שלשה תאים, בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.1 אום, מחוברים בטור עם צרכן שהתנגדותו 17.7 אום. חשב את עוצמת הזרם במעגל.

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{nE_1}{R+nr_1} = \frac{3\times1.5}{17.7+3\times0.1} = \frac{4.5}{17.7+0.3} = \frac{4.5}{18} = 0.25A$$

למעשה יכולנו לחבר תאים רבים בטור כדי לקבל סוללה בעלת מתח גבוה, אך חיבור כזה אינו מועיל בכל מקרה, הואיל ההתנגדות הפנימית של סוללה בעלת מספר גדול של תאים תהיה גם כן גבוהה.

הדבר בולט במיחד, כאשר התנגדות הצרכן נמוכה בהשוואה להתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה, הואיל ובמקרה כזה מתח ההדקים של הסוללה יהיה מאד נמוך כתוצאה ממפל המתח הפנימי הגבוה בסוללה.

לעומת זאת, כאשר התנגדות הצרכן היא גבוהה ביחס להתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה, חיבור כזה הנו מעשי בהחלט.

נבהיר זאת באמצעות דוגמא.

דוגמא: סוללה טורית בנויה 100 תאים שווים, בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית של 0.1 אום.

חשב את מתח ההדקים של הסוללה בשני מקרים:

א) כאשר מחברים לסוללה צרכן שהתנגדותו 290 אום.

ב) כאשר מחברים לסוללה צרכן שהתנגדותו 5 אום.

$$E = nE_1 = 100 \times 1.5 = 150V \qquad r = nr_1 = 100 \times 0.1 = 10\Omega$$

א)

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r} = \frac{150}{290 + 10} = \frac{150}{300} = 0.5A$$

$$U_1 = E - \Delta U_1 = E - I_1 r = 150 - 0.5\times10 = 150 - 5 = 145V$$

ב)

$$I_2 = \frac{E}{R_2 + r} = \frac{150}{5 + 10} = \frac{150}{15} = 10A$$

$$U_2 = E - \Delta U_2 = E - I_2 r = 150 - 10\times10 = 150 - 100 = 50V$$

נבדוק, בשני המקרים, מהו ההספק ההולך לאיבוד בתוך הסוללה בהשוואה להספק הנצרך על-ידי הצרכן.

א) ההספק ההולך לאיבוד:

$$P = I_1^2 r = 0.5^2 \times 10 = 0.25 \times 10 = 2.5W$$

ההספק הנצרך על-ידי הצרכן:

$$P_1 = I_1^2 R_1 = 0.5^2 \times 290 = 0.25 \times 290 = 72.5W$$

ב) ההספק ההולך לאיבוד:

$$P = I_2^2 r = 10^2 \times 10 = 1000W$$

ההספק הנצרך על-ידי הצרכן:

$$P_2 = I_2^2 R_2 = 10^2 \times 5 = 100 \times 5 = 500W$$

אנו רואים, כי במקרה (א) מתח ההדקים של הסוללה גבוה וההספק ההולך לאיבוד בסוללה הוא נמוך. לעומת זאת במקרה (ב) מתח ההדקים של הסוללה הוא נמוך וההספק ההולך לאיבוד בסוללה הוא גבוה.

מסקנה: נהגים להשתמש בסוללות טוריות, כאשר התנגדות הצרכן גבוהה בהשוואה להתנגדות הפנימית של הסוללה.

הקבול השקול של סוללת תאים טורית

הואיל ובחיבור טורי שווה עוצמת הזרם בכל אחד מהתאים, הרי שהקיבול והשקול (Q) ישווה לקיבול (Q_1) של תא בודד.

$$Q = Q_1$$

במקרה שהתאים הם בעלי קיבול שונה, ישווה הקיבול השקול של הסוללה לקיבול של התא בעל הקיבול הנמוך ביותר.

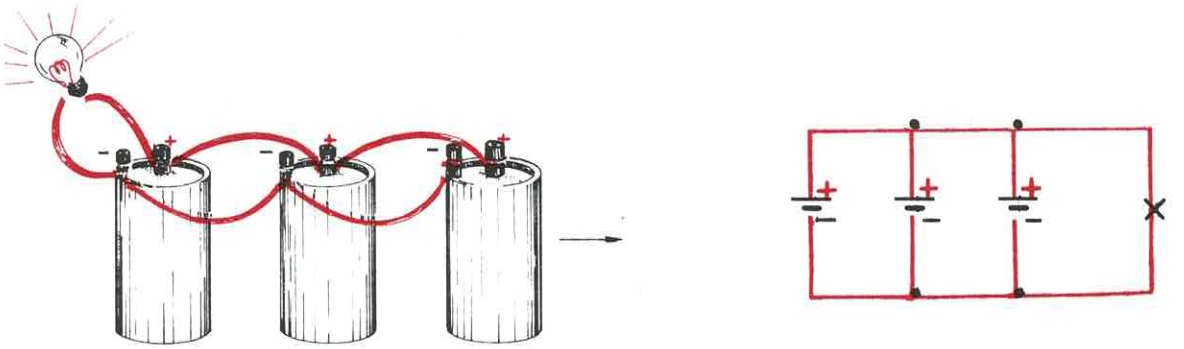
דוגמא: מצבר בנוי 6 תאים, בעלי קיבול של 40 אמפר-שעות, בטור.
חשב את הקיבול השקול של המצבר.

$$Q = Q_1 = 40Ah$$

חיבור מקבילי של תאים - סוללה מקבילית

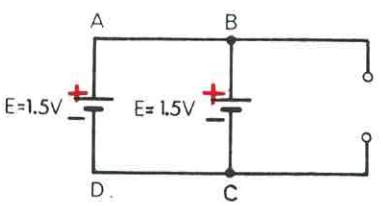
אנו מחברים תאים במקביל, כאשר אנו מעוניינים לצרוך עוצמות זרם גבוהות יותר מאשר ניתן לצרוך מתא בודד, וכאשר אנו מעוניינים בקיבול גדול יותר מזה של תא בודד.

בחיבור מקבילי מחברים את כל הקטבים החיוביים זה לזה, והחיבור המשותף מהווה את הקוטב החיובי של הסוללה. בדומה, מחברים את כל הקטבים השליליים זה לזה, והחיבור המשותף מהווה את הקוטב השלילי של הסוללה (ציור י'5).



ציור י׳5

בחיבור מקבילי של תאים הכרחי, שכל התאים יהיו בעלי כא"מ שווה כדי למנוע זרימת זרמים בתוך התאים, כאשר הסוללה אינה מחוברת במעגל. נתבונן בציור י׳6, בו מופיעה סוללה, המורכבת משני תאים המחוברים ביניהם במקביל.



ציור י׳6

אם שני התאים הם בעלי כא"מ שווה, לא יזרום דרכם זרם חשמלי, הואיל והקוטב החיובי של תא אחד מחובר לקוטב החיובי של השני, והקוטב השלילי של תא אחד מחובר לקוטב השלילי של התא השני, ושני הכוחות האלקטרו-מניעים מבטלים זה את זה. אך אם הכוחות-האלקטרו-מניעים של שני התאים לא יהיו שווים בערכם, יזרום במעגל ABCD זרם חשמלי פנימי, אשר יגרום להתבלותם המהירה של התאים.

הכא"מ השקול של סוללה מקבילית

הכא"מ השקול (E) של סוללה מקבילית שווה לכא"מ (E_1) של תא בודד.

$$E = E_1$$

דוגמא: 10 תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט מחוברים במקביל.
חשב את הכא"מ השקול.

$$E = E_1 = 1.5V$$

ההתנגדות הפנימית השקולה של סוללה מקבילית

כאשר מחברים תאים במקביל, יהיו ההתנגדויות הפנימיות שלהם גם כן במקביל, ולכן ההתנגדות הפנימית השקולה (r) , של סוללה בת (n) תאים בעלי התנגדות פנימית (r_1) , תהיה:

$$\boxed{r = \frac{r_1}{n}}$$

דוגמא: סוללה מקבילית מורכבת עשרה תאים בעלי התנגדות פנימית של 0.1 אום.
חשב את ההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה.

$$r = \frac{r_1}{n} = \frac{0.1}{10} = 0.01\Omega$$

אנו רואים, אם כן, שמסוללה מקבילית ניתן לצרוך זרם מירבי בעל עוצמה גבוהה יותר מאשר ניתן לצרוך מתא בודד, הואיל וההתנגדות הפנימית השקולה של סוללה מקבילית נמוכה מזו של תא בודד.

דוגמא: חשב את עוצמת הזרם המירבית, שניתן לצרוך מסוללה מקבילית, המורכבת מעשרה תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית של 0.5 אום.

$$I = \frac{E}{r} = \frac{E_1}{r_1/n} = \frac{1.5}{0.5/10} = \frac{1.5}{0.05} = 30A$$

בו בזמן שמתא בודד מסוג זה נוכל לצרוך זרם מירבי שעוצמתו:

$$I = \frac{E}{r} = \frac{1.5}{0.5} = 3A$$

נדגים עתה, באילו מיקרים רצוי לחבר תאים במקביל:

דוגמא: ברשותך תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט ובעלי התנגדות פנימית של 1 אום. בדוק את מידת הכדאיות להפעיל צרכנים באמצעות סוללה מקבילית, בעלת 10 תאים, במקרים הבאים:

א) כאשר התנגדות הצרכן היא 1 אום.

ב) כאשר התנגדות הצרכן היא 100 אום.

$$E = E_1 = 1.5V \qquad r = \frac{r_1}{n} = \frac{1}{10} = 0.1\Omega$$

א) נחשב תחילה את עוצמת הזרם הזורם דרך הצרכן:

$$I_1 = \frac{E}{r + R_1} = \frac{1.5}{0.1 + 1} = \frac{1.5}{1.1} = 1.36A$$

לו חיברנו את הצרכן לתא בודד היינו מקבלים:

$$I_1 = \frac{E}{r_1 + R_1} = \frac{1.5}{1 + 1} = \frac{1.5}{2} = 0.75A$$

ב) עוצמת הזרם הזורם דרך הצרכן היא:

$$I_2 = \frac{E}{r + R_2} = \frac{1.5}{0.1 + 100} = \frac{1.5}{100.1} \cong 0.015A$$

לו חיברנו את הצרכן לתא בודד היינו מקבלים:

$$I_2 = \frac{E}{r_1 + R_2} = \frac{1.5}{1 + 100} = \frac{1.5}{101} \cong 0.015A$$

אנו רואים, שאם התנגדות הצרכן היא גבוהה מאד בהשוואה להתנגדות הפנימית של התא, יש להסתפק בתא בודד, ושימוש בסוללה הוא מיותר לחלוטין.

לעומת זאת, אם התנגדות הצרכן היא נמוכה בהשוואה להתנגדות הפנימית של תא, יש להעדיף להשתמש בסוללה.

הקיבול השקול של סוללה מקבילית

בסוללה מקבילית כל תא בפני עצמו מספק זרם לצרכן. אי לכך שווה הקיבול השקול (Q) של סוללה מקבילית לסכום הקיבולים של התאים הבודדים.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots$$

ואם התאים זהים, וכל אחד מהם הוא בעל קיבול Q_1 , נקבל:

$$\boxed{Q = nQ_1}$$

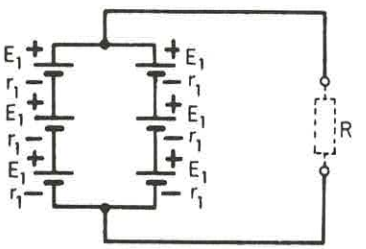
דוגמא: חשב את הקיבול השקול של סוללה מקבילית בעלת 6 תאים, אם ידוע שקיבולו של כל תא הוא 1 אמפר-שעות.

$$Q = nQ_1 = 1 \times 6 = 6Ah$$

חיבור מעורב של תאים - סוללה מעורבת

אם אנו מעוניינים בסוללה בעלת כא"מ שקול, גבוה מזה של תא בודד, ובעלת כושר לספק זרם מירבי בעל עוצמה גבוהה מזו של תא בודד, עלינו להשתמש בסוללה מעורבת, בה מחוברים התאים בחיבור מעורב.

בציור י'7 מתואר חיבור מעורב של תאים.
לפנינו שתי שורות תאים המחוברות ביניהן במקביל.
בכל שורה שלושה תאים.



ציור י'7

נבדוק עתה - מה יהיה הכא"מ השקול של הסוללה המעורבת שבציור י'7.

בכל שורה שלושה תאים המחוברים בטור, ומסיבה זו הכא"מ השקול של כל שורה יהיה $3E_1$.
הואיל ושתי השורות מחוברות ביניהן במקביל, הרי שהכא"מ השקול של הסוללה יהיה גם כן $E = 3E_1$.

נבדוק עתה - מה תהיה ההתנגדות השקולה של הסוללה המעורבת שבציור י'7.
ההתנגדות השקולה של כל שורה תהיה $3r_1$; והואיל ושתי השורות מחוברות במקביל, הרי שההתנגדות השקולה של הסוללה תשווה למחצית ההתנגדות השקולה של כל שורה.
היינו: $r = 3r_1/2$.

הואיל והקבול השקול של תאים המחוברים בטור שווה לקיבולו של תא בודד (Q_1) והקיבול השקול במקביל שווה לסכום הקיבולים של התאים, הרי שבמקרה שלנו הקיבול השקול של הסוללה יהיה $Q = 2Q_1$.

אם נחבר לסוללה זו צרכן בעל התנגדות R , תהיה עוצמת הזרם במעגל:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{3E_1}{R + 3r_1/2}$$

דוגמא: בהתייחס לציור י'7 נתון: $R = 8.7\Omega$ $r_1 = 0.2\Omega$ $E_1 = 1.5V$

חשב את הכא"מ השקול של הסוללה, את ההתנגדות הפנימית השקולה, ואת עוצמת הזרם במעגל.

$$E = 3E_1 = 3 \times 1.5 = 4.5V$$

$$r = \frac{3}{2}r_1 = \frac{3}{2} \times 0.2 = 0.3V$$

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{4.5}{8.7 + 0.3} = \frac{4.5}{9} = 0.5A$$

נבדוק עתה מקרה כללי יותר, כאשר בסוללה מעורבת מצויות p שורות מקבילות ובכל שורה s תאים בעלי כא"מ E_1 , התנגדות פנימית r_1 , וקיבול Q_1 .

הכא"מ השקול E : $E = sE_1$

ההתנגדות הפנימית השקולה: $r = \frac{sr_1}{p}$

הקיבול השקול: $Q = pQ_1$

אם במעגל מחובר צרכן בעל התנגדות R , תהיה עוצמת הזרם במעגל:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{sE_1}{R + sr_1/p}$$

דוגמא: סוללה מורכבת שלוש שורות של תאים ובכל שורה ארבעה תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט, התנגדות פנימית של 0.3 אום וקיבול של 1 אמפר-שעה.

סוללה זו מחוברת לנגד שהתנגדותו 2.6 אום.

חשב את עוצמת הזרם הזורם בנגד ואת קיבול הסוללה.

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{sE_1}{R + sr_1/p} = \frac{4 \times 1.5}{2.6+4\times0.3/3} = \frac{6}{2.6 + 0.4} = \frac{6}{3} = 2A$$

נחשב זאת בשלבים:

$$E = E_1 s = 1.5 \times 4 = 6V$$

$$r = \frac{r_1 s}{p} = \frac{0.3 \times 4}{3} = 0.4\Omega$$

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{6}{2.6 + 0.4} = \frac{6}{3} = 2A$$

$$Q = pQ_1 = 3 \times 1 = 3Ah$$

דוגמא: 6 תאים בעלי כא"מ של 2 וולט והתנגדות פנימית של 0.6 אום מחוברים בשלושה אופנים:

א) בחיבור טורי

ב) בחיבור מקבילי

ג) בחיבור מעורב (שתי שורות בנות שלושה תאים)

מה תהיה עוצמת הזרם, שיזרום דרך צרכן, שהתנגדותו 0.4 אום, בהיותו מחובר לכל אחת משלוש הסוללות:

א) בחיבור טורי:

$$E = nE_1 = 6 \times 2 = 12V$$

$$r = nr_1 = 6 \times 0.6 = 3.6\Omega$$

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{12}{0.4 + 3.6} = \frac{12}{4} = 3A$$

ב) בחיבור מקבילי:

$$E = E_1 = 2V$$

$$r = \frac{r_1}{n} = \frac{0.6}{6} = 0.1\Omega$$

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{2}{0.4 + 0.1} = \frac{2}{0.5} = 4A$$

ג) בחיבור מעורב:

$$E = sE_1 = 3 \times 2 = 6V$$

$$r = \frac{sr_1}{p} = \frac{3 \times 0.6}{2} = 0.9\Omega$$

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{6}{0.4 + 0.9} = \frac{6}{1.3} = 4.62A$$

חיבור תאים לקבלת עוצמת זרם מירבית

ברצוננו לבדוק מהו התנאי לקבלת זרם בעל עוצמה מירבית מסוללה מעורבת.

נבחר לעצמנו 24 תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.2 אום.
נחבר אותם באופנים שונים ונחשב את עוצמת הזרם הזורם דרך צרכן בעל התנגדות של 0.3 אום, בכל מקרה ומקרה, ונסכם את התוצאות בטבלה:

אופי החיבור	מספר השורות p	מספר התאים בשורה s	כא"מ שקול [V] $E = sE_1$	התנגדות פנימית שקולה [Ω] $r = \frac{sr_1}{p}$	עוצמת הזרם [A] $I = \frac{E}{R + r}$
חיבור טורי	1	24	36	4.800	7.05
2 שורות בנות 12 תאים	2	12	18	1.200	12.00
3 שורות בנות 8 תאים	3	8	12	0.533	14.40
4 שורות בנות 6 תאים	4	6	9	0.300	15.00
6 שורות בנות 4 תאים	6	4	6	0.133	13.90
8 שורות בנות 3 תאים	8	3	4.5	0.075	12.00
12 שורות בנות 2 תאים	12	2	3	0.033	9.00
חיבור מקבילי	24	1	1.5	0.008	4.88

אם נתבונן בתוצאות, נראה, שקיבלנו עוצמת זרם מירבית במעגל, כאשר ההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה שווה להתנגדות הצרכן. אי לכך, התנאי לקבלת עוצמת זרם מירבית מסוללה הוא: $r = R$, או:

$$\boxed{\frac{s}{p} r_1 = R}$$

s : מספר התאים בכל שורה.

p : מספר השורות.

r_1 : ההתנגדות הפנימית של תא בודד.

R : התנגדות הצרכן.

הואיל ולא ייתכן, בכל מקרה, להגיע למצב שבו ההתנגדות הפנימית של הסוללה תשווה בדיוק להתנגדות הצרכן, מסתפקים בכך שההתנגדות הפנימית של הסוללה תהיה קרובה, ככל האפשר, להתנגדות הצרכן.

דוגמא: ברשותך 12 תאים בעלי כא"מ של 1.4 וולט והתנגדות פנימית של 1 אום. כיצד תחברם כדי לקבל סוללה, אשר תזרים זרם בעוצמה מירבית דרך נגד שהתנגדותו 3 אום?

כפי שראינו חייב להתקיים התנאי: $\frac{s}{p} r_1 = R$

נציב את הנתונים ונקבל: $\frac{s}{p} \times 1 = 3$

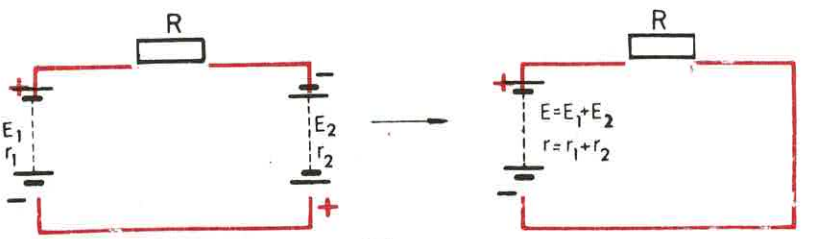
תנאי זה מתקיים, כאשר מרכיבים את 12 התאים בשתי שורות בנות ששה תאים. במקרה זה $p = 2$ $s = 6$ ומקבלים $s/p = 3$ ועוצמת הזרם במעגל:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{sE_1}{R+sr_1/p} = \frac{8.4}{3 + 3} = \frac{8.4}{6} = 1.4A$$

מעגלים בעלי מספר מקורות מתח

מעגלים בעלי עניבה אחת

בציור י'8 מתואר מעגל חשמלי בעל עניבה אחת, בו מצויים שני מקורות מתח בעלי כוחות-אלקטרו-מניעים E_1 ו- E_2 והתנגדויות פנימיות r_1 ו- r_2. נוסף לכך מצוי במעגל צרכן בעל התנגדות R.



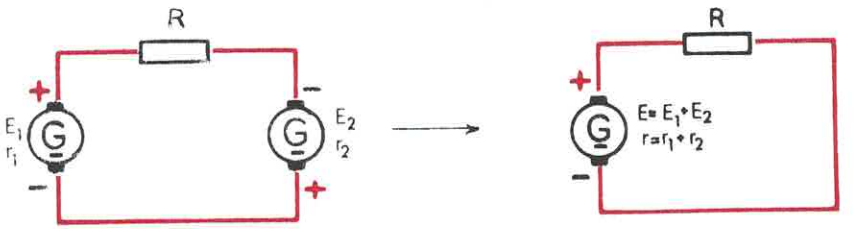
ציור י'8

הואיל ושני המקורות מחוברים בטור, בקוטביות מתאימה, ניתן להחליף את שני המקורות במקור אחד, שהכא"מ השקול שלו שווה לסכום הכוחות האלקטרו-מניעים של שני המקורות, וההתנגדות הפנימית השקולה שלו שווה לסכום ההתנגדויות הפנימיות של שני המקורות.

עוצמת הזרם במעגל תהיה:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{E_1 + E_2}{R + r_1 + r_2}$$

הוא הדין לגבי מקורות מתח ישר מכל הסוגים. בציור י'9 מופיע מעגל דומה, בו שלובים שני מחוללים בטור ובקוטביות מתאימה.



ציור י'9

גם במקרה זה עוצמת הזרם במעגל תהיה:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{E_1 + E_2}{R + r_1 + r_2}$$

אם נתיחס לחוק קירכהוף נוכל לרשום:

$$E = IR + Ir$$

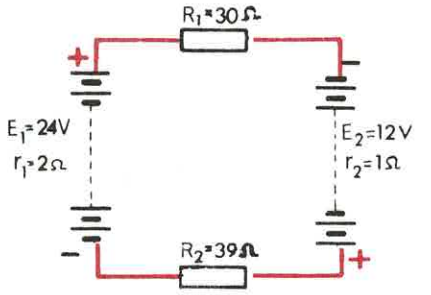
או:

$$E_1 + E_2 = IR + Ir_1 + Ir_2$$

נוכל, אם כן, לנסח מחדש את חוק קירכהוף בצורתו הרחבה יותר:

<u>סכום הכוחות האלקטרו-מניעים במעגל חשמלי טורי שווה לסכום מפלי המתח במעגל.</u>

דוגמא: חשב את עוצמת הזרם במעגל שבציור י'10, את מפלי המתח על גבי הנגדים R_1 ו- R_2 , ואת מפלי המתח הפנימיים.



ציור י'10

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1+R_2+r_1+r_2} = \frac{24 + 12}{30+39+2+1} = \frac{36}{72} = 0.5A$$

$$U_1 = IR_1 = 0.5 \times 30 = 15V$$

$$U_2 = IR_2 = 0.5 \times 39 = 19.5V$$

ומפלי המתח הפנימיים יהיו:

$$\Delta U_1 = Ir_1 = 0.5 \times 2 = 1V$$

$$\Delta U_2 = Ir_2 = 0.5 \times 1 = 0.5V$$

לפי חוק קירכהוף: $E_1 + E_2 = U_1 + U_2 + \Delta U_1 + \Delta U_2$

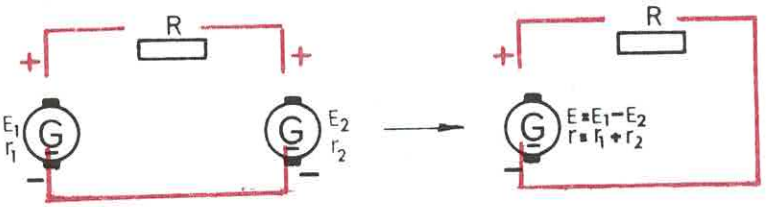
נבדוק, אם אמנם התוצאות, שקבלנו מספקות את החוק:

$$24 + 12 = 15 + 19.5 + 1 + 0.5$$

$$36 = 36$$

נתבונן בציור י' 11 בו מופיע מעגל הכולל שני מחוללים וצרכן. אנו רואים, שהמחוללים מחוברים בטור, אך בקוטביות הפוכה. מסיבה זו יזרימו שני המחוללים זרמים בכיוונים הפוכים,

והכא"מ השקול במעגל ישווה להפרש הכוחות-האלקטרו-מניעים של המחוללים.



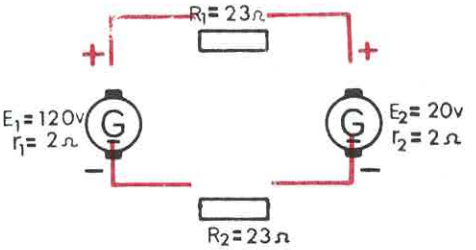
ציור י'11

עוצמת הזרם במעגל זה תהיה:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{E_1 - E_2}{R + r_1 + r_2}$$

ברור, כמו כן, שאם שני הכוחות-האלקטרו-מניעים שווים והפוכים בקוטביות שלהם, הם מבטלים זה את זה, ובמעגל לא יזרום זרם.

דוגמא: חשב את עוצמת הזרם במעגל שבציור י'12, ואת מתח ההדקים של כל מחולל.



ציור י'12

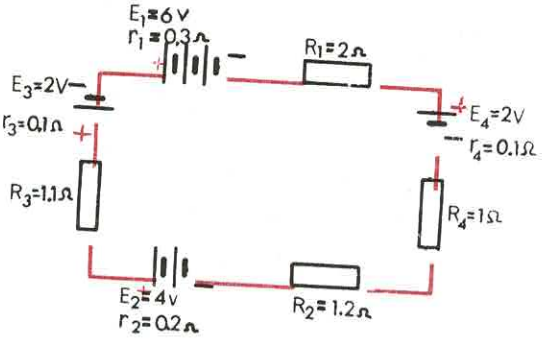
$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + r_1 + r_2} = \frac{120 - 20}{23+23+2+2} = \frac{100}{50} = 2A$$

מפל המתח הפנימי בכל מחולל: $\Delta U_1 = \Delta U_2 = Ir = 2 \times 2 = 4V$

מתח ההדקים של המחולל הראשון: $U_1 = E_1 - \Delta U_1 = 120 - 4 = 116V$

מתח ההדקים של המחולל השני: $U_2 = E_2 + \Delta U_2 = 20 + 4 = 24V$

דוגמא: חשב את עוצמת הזרם במעגל שבציור י׳13 ואת מפל המתח על כל אחד מהנגדים.



ציור י׳13

$$I = \frac{E_1 + E_3 + E_4 - E_2}{R_1+R_2+R_3+R_4+r_1+r_2+r_3+r_4} = \frac{6 + 2 + 2 - 4}{2+1.2+1.1+1+0.3+0.2+0.1+0.1}$$

$$= \frac{6}{6} = 1A$$

$U_1 = IR_1 = 1 \times 2 = 2V$

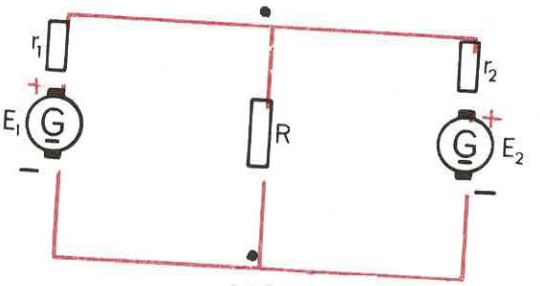
$U_2 = IR_2 = 1 \times 1.2 = 1.2V$

$U_3 = IR_3 = 1 \times 1.1 = 1.1V$

$U_4 = IR_4 = 1 \times 1 = 1V$

מעגלים בעלי שתי עניבות

בציור י׳14 מתואר מעגל חשמלי בעל שתי עניבות, ובכל עניבה מצוי מקור מתח.



ציור י׳14

מעגל זה מורכב יותר מהמעגלים שהכרנו עד כה, ואנו נראה כיצד ניתן לחשב את עוצמת הזרם הזורם בכל אחד ממרכיבי המעגל:

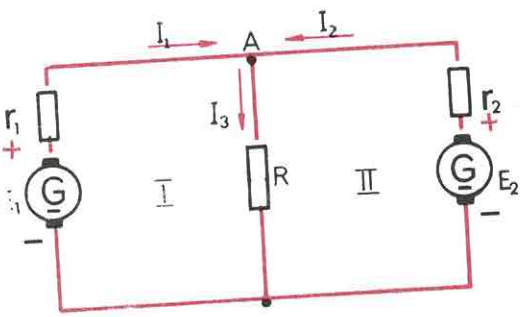
א) אנו קובעים תחילה את כיווני זרימת הזרם בכל ענף כרצוננו ומסמנים אותם בחיצים.

ב) רושמים משוואה בהתיחס לאחד הצמתים בהתאם לחוק הצומת לקירכהוף.

ג) מתייחסים לכל עניבה כעניבה עצמאית, מבלי שתהיה תלויה בעניבה השנייה, ורושמים משוואה, לגבי כל אחת מהן, בהתאם לחוק מפלי המתח לקירכהוף.
יש לשים לב לכך, שאם סימננו את כיוון זרימת הזרם, דרך נגד המצוי בעניבה, בכיוון מנוגד לכיוון הזרם, אשר מזרים מקור המתח המצוי בעניבה זו, עלינו לסמן את מפל המתח בנגד זה בסימן (-).

ד) מקבלים שלוש משוואות ומתירים אותן כדי לחשב את עוצמות הזרמים הזורמים בענפים.
אם מקבלים תוצאה שלילית כלשהי, סימן הוא שכיוון זרימת הזרם, באחתו ענף, הוא בניגוד לכיוון, אשר הנחנו מראש.

נבחון שוב את המעגל שבציור י'14, ונקבע לעצמנו כיווני זרמים בכל ענף (ציור י'15).



ציור י'15

משוואת עוצמות הזרמים לפי חוק הצומת לקירכהוף, בהתיחס לצומת A היא:

$$I_3 = I_1 + I_2$$

בהתייחס לעניבה הראשונה, נרשום משוואה בהתאם לחוק מפלי המתח לקירכהוף:

$$E_1 = I_1 r_1 + I_3 R$$

נחזור על אותה פעולה, בהתייחס לעניבה השניה, ונקבל:

$$E_2 = I_2 r_2 + I_3 R$$

קבלנו שלוש משוואות המתייחסות למעגל שבציור י'15.

(I) $$I_3 = I_1 + I_2$$

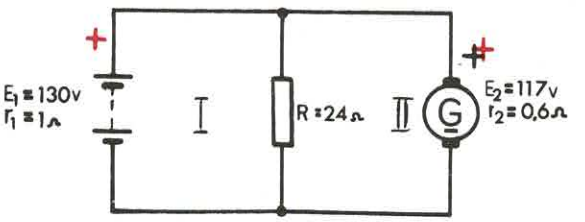
(II) $$E_1 = I_1 r_1 + I_3 R$$

(III) $$E_2 = I_2 r_2 + I_3 R$$

כאשר ידועים הכא"מ של מקורות המתח, וכמו כן ההתנגדויות הפנימיות שלהם והתנגדות הצרכן, לא יקשה עלינו להתיר את המשוואות ולחשב את עוצמות הזרמים בענפים.

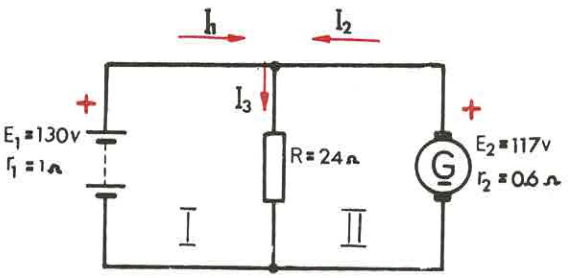
עלינו לזכור, שייתכנו גם תשובות שליליות. אם התשובות הן חיוביות, הרי הנחתנו, באשר לכיוון הזרימה של הזרמים בענפים, היתה נכונה. אם תשובה כלשהי היא שלילית, הרי כיוון הזרימה של הזרם באותו הענף היא בניגוד לכיוון שהנחנו.

דוגמא: בהתייחס למעגל שבציור י׳16 חשב את עוצמות הזרמים בכל אחד מהענפים.



ציור י׳16

נקבע תחילה את כיווני הזרמים בכל אחד מהענפים (ציור י׳17).



ציור י׳17

משוואת עוצמות הזרמים לפי חוק הצומת היא:

$$I_1 = I_3 - I_2 \quad \text{או} \quad I_3 = I_1 + I_2$$

בהתייחס לעניבה I נרשום: $E_1 = I_1 r_1 + I_3 R$

ובהתייחס לעניבה II נרשום: $E_2 = I_2 r_2 + I_3 R$

נציב נתונים בשתי המשוואות האחרונות ונקבל:

$$130 = I_1 + 24I_3$$
$$117 = 0.6I_2 + 24I_3$$

נציב עתה $I_1=I_3-I_2$ בתוך המשוואה הראשונה ונקבל שתי משוואות בשני נעלמים:

$$130 = I_3 - I_2 + 24I_3$$
$$117 = 0.6I_2 + 24I_3$$

נכנס אברים דומים ונכפול את המשוואה הראשונה פי 0.6:

$$130 = - I_2 + 25I_3 \quad \times 0.6$$
$$117 = 0.6I_2 + 24I_3$$

נחבר את שתי המשוואות:

$$78 = - 0.6I_2 + 15I_3$$
$$117 = 0.6I_2 + 24I_3$$
$$195 = 0 + 39I_3$$

מכאן:

$$I_3 = \frac{195}{39} = 5A$$

נציב $I_3=5A$ באחת המשוואות:

$$130 = I_1 + 24 \times 5$$

נחלץ את I_1:

$$I_1 = 130 - 120 = 10A$$

והואיל ו- $I_3=I_1+I_2$ נקבל:

$$I_2 = I_3 - I_1 = 5 - 10 = - 5A$$

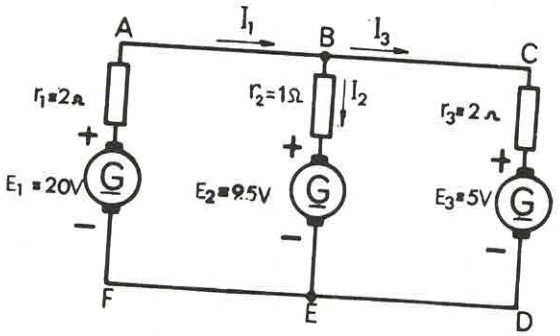
הסימן השלילי מציין, כי מגמת הזרם I_2 היא מנוגדת לזו שהנחנו.

אנו רואים, כי במקרה זה המחולל (G) פועל כצרכן, הואיל והזרם הזורם דרכו זורם במגמה הפוכה לכיוון הכא"מ שלו.

אם בעניבה אחת מצויים שני מקורות מתח, או יותר, עלינו לשים לב לקוטביות המקורות, כדי למנוע טעות אפשרית בעת רישום המשוואות, בהתייחס לחוק מפלי המתח של קירכהוף.

דוגמא: חשב את עוצמות הזרמים I_1 I_2 I_3 בכל אחד משלושת הענפים של המעגל בציור י'18.

המעגל מורכב משלושה מקורות מתח בעלי כא"מ שונה, המחוברים במקביל.



ציור י' 18

משוואת עוצמות הזרמים בהתייחס לצומת B היא: $I_1 = I_2 + I_3$.

העניבה הראשונה שנבחר היא ABEF והשניה BCDE .

נרשום את שתי המשוואות, לפי קירכהוף, בהתייחס לשתי העניבות:

$$E_1 - E_2 = I_1r_1 + I_2r_2$$

$$E_2 - E_3 = -I_2r_2 + I_3r_3$$

נציב נתונים:

$$20 - 9.5 = 2I_1 + I_2$$

$$9.5 - 5 = -I_2 + 2I_3$$

נציב במשוואה הראשונה $I_1 = I_2+I_3$,

נכנס אברים דומים ונכפול את המשוואה השניה פי (1-):

$$10.5 = 2I_3 + 3I_2$$

$$4.5 = 2I_3 - I_2 \quad \times(-1)$$

נחבר את שתי המשוואות:

$$10.5 = 2I_3 + 3I_2$$

$$-4.5 = -2I_3 + I_2$$

$$6 = 0 + 4I_2$$

לכן: $I_2 = \frac{6}{4} = 1.5A$

אם נציב $I_2=1.5A$ בתוך אחת המשוואות, נקבל: $10.5 = 2I_1 + 1.5$

$$I_1 = 4.5A$$

ומכאן:

$$I_3 = I_1 - I_2 = 4.5 - 1.5 = 3A$$

לבסוף:

שאלות סיכום ובעיות לפרק י

בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות בדירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה, ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות המצויות בסוף הספר כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

1) תא חשמלי הוא מקור מתח הפועל על-פי עקרון התופעה:

א) התרמית.
ב) האלקטרומגנטית.
ג) האלקטרוכימית.
ד) הפיסיולוגית.

2) בשם סוללה אנו מכנים:

א) קבוצת תאים בודדים.
ב) מספר תאים המחוברים ביניהם.
ג) שני תאים המחוברים במקביל.
ד) מספר נגדים המחוברים בטור או במקביל.

3) עם התיישנותו של תא חשמלי, התנגדותו הפנימית:

א) עולה.
ב) יורדת.
ג) אינה משתנה.
ד) בתאים מסוימים היא עולה ובאחרים יורדת.

4) ככל שקיבולו של תא גדול יותר, ניתן להפיק ממנו:

א) כא"מ גבוה יותר.
ב) עוצמת זרם גבוהה יותר.
ג) הספק גבוה יותר.
ד) כמות חשמל גדולה יותר.

5) אורך החיים של תא חשמלי תלוי:

א) בגודלו.
ב) בכא"מ שלו.
ג) בקיבולו.
ד) בקיבולו ובעוצמת הזרם שצורכים ממנו.

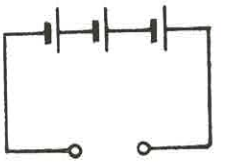
6) אנו מחברים תאים בטור, כאשר אנו מעונינים ב-:

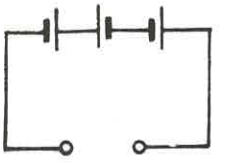
א) כא"מ יותר גבוה מאשר עשוי לספק תא בודד.
ב) טיב מעולה של הסוללה.
ג) יציבות המתח של הסוללה.
ד) כא"מ יותר נמוך מזה שעשוי לספק תא בודד.

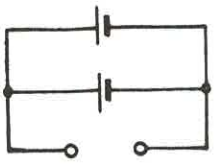
7) בחיבור טורי של תאים - מחברים:

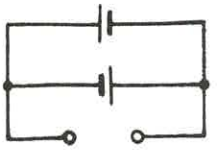
א) את כל ההדקים החיוביים ביניהם ואת כל ההדקים השליליים ביניהם.
ב) את ההדק החיובי של התא הראשון לשלילי של השני וכן הלאה.
ג) את ההדקים ביניהם, כרצוננו.
ד) את ההדקים לצרכן.

8) איזה מבין החיבורים הבאים הוא חיבור טורי של תאים?

א)


ב)


ג)


ד)


9) הכא"מ השקול של סוללת תאים טורית שווה ל-:

א) סכום הכא"מ של התאים הבודדים.

ב) כא"מ של תא בודד.

ג) סכום הכא"מ של התאים הבודדים חלקי שתיים.

ד) תלוי בסוג התאים.

10) ההתנגדות הפנימית השקולה של סוללה טורית שווה ל-:

א) ההתנגדות הפנימית של תא אחד.

ב) התנגדות השקולה של ההתנגדויות הפנימיות בטור.

ג) התנגדות השקולה של ההתנגדויות הפנימיות במקביל.

ד) כא"מ של הסוללה חלקי עוצמת הזרם במעגל.

11) מפל המתח הפנימי של סוללה טורית שווה ל-:

א) כא"מ של הסוללה.

ב) כא"מ של תא בודד.

ג) מכפלת עוצמת הזרם במעגל בהתנגדות הצרכן.

ד) מכפלת עוצמת הזרם במעגל בהתנגדות הפנימית השקולה.

12) מתח ההדקים של סוללה טורית:

א) שווה בכל מקרה לכא"מ של הסוללה.

ב) נמוך מהכא"מ, כאשר זורם זרם במעגל.

ג) הוא מעט גבוה מהכא"מ.

ד) שווה לכא"מ, אך ורק בשעה שזורם זרם במעגל.

13) ככל שיגדל הזרם במעגל, כן:

א) יקטן הכא"מ של הסוללה.

ב) יקטן מפל המתח הפנימי בסוללה.

ג) יגדל מפל המתח הפנימי בסוללה.

ד) יגדל מתח ההדקים של הסוללה.

14) ככל שתרד עוצמת הזרם במעגל, כן:

א) יעלה מתח ההדקים של הסוללה.

ב) יעלה הכא"מ של הסוללה.

ג) יעלה מפל המתח הפנימי של הסוללה.

ד) ירד הכא"מ של הסוללה.

15) מעדיפים חיבור טורי של תאים, כאשר:

א) התנגדות הצרכן גבוהה בהשוואה להתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה.

ב) התנגדות הצרכן נמוכה בהשוואה להתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה.

ג) מעוניינים לצרוך מהסוללה עוצמות זרם גבוהות.

ד) לא ניתן לחברם במקביל.

16) כמות החשמל, שניתן להפיק מסוללה טורית:

א) שווה לסכום כמויות החשמל, שניתן להפיק מהתאים הבודדים.

ב) שווה לכמות החשמל, שניתן להפיק מתא בודד.

ג) תלויה בהתנגדות השקולה של הצרכנים.

ד) תלויה בכא"מ השקול של הסוללה.

17) אנו מחברים תאים בחיבור מקבילי, כאשר מעוניינים ב-:

א) צריכת כמויות חשמל גדולות מאשר ניתן לצרוך מתא בודד.

ב) כא"מ גבוה מזה שניתן לקבל מתא בודד.

ג) התנגדות פנימית גבוהה של מקור המתח.

ד) סוללה מטיב מעולה.

18) בחיבור מקבילי של תאים - מחברים:

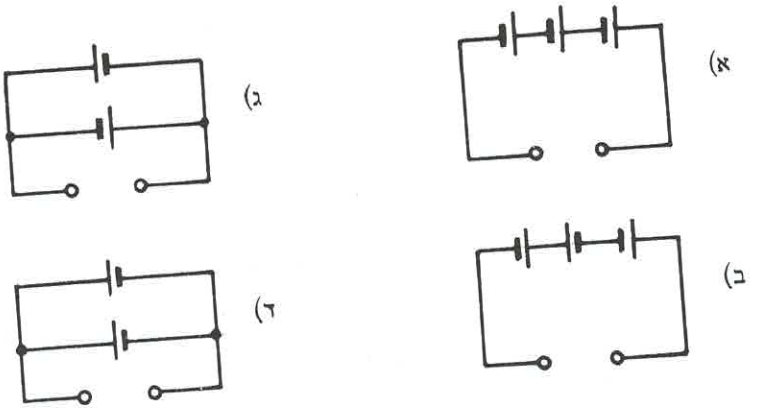
א) את ההדק החיובי של התא הראשון עם השלילי של השני וכן הלאה.

ב) את כל ההדקים החיוביים ביניהם ואת כל השליליים ביניהם.

ג) את כל ההדקים זה לזה.

ד) את ההדקים של התאים כרצוננו.

19) איזה מבין החיבורים הבאים הוא חיבור מקבילי?



20) אם נחבר במקביל שני תאים בעלי כא"מ בלתי שווה:

א) ישווה הכא"מ של הסוללה להפרש הכוחות-האלקטרומניעים של התאים.
ב) ישווה הכא"מ של הסוללה לסכום הכוחות-האלקטרומניעים של התאים.
ג) דרך התאים יזרום זרם פנימי, שיגרום להתבלות מהירה של הסוללה.
ד) לא יזרום כלל זרם דרך נגד המחובר בין הדקי הסוללה.

21) הכא"מ השקול של סוללת תאים, המחוברים במקביל, שווה ל-:

א) סכום הכוחות-האלקטרומניעים של התאים הבודדים.
ב) כא"מ של תא אחד.
ג) עוצמת הזרם במעגל כפול ההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה.
ד) עוצמת הזרם במעגל כפול התנגדות העומס.

22) ההתנגדות הפנימית השקולה של סוללה מקבילית שווה ל-:

א) התנגדותו הפנימית של תא בודד.
ב) סכום ההתנגדויות הפנימיות של התאים הבודדים.
ג) התנגדות השקולה של כל ההתנגדויות הפנימיות במקביל.
ד) מתח ההדקים של הסוללה חלקי עוצמת הזרם במעגל.

ר' 23) **מפל המתח הפנימי בסוללה מקבילית:**

א) תלוי במספר התאים המחוברים בסוללה.

ב) תלוי בהתנגדות הפנימית ובעוצמת הזרם במעגל.

ג) תלוי בכא"מ של הסוללה.

ד) הוא קבוע ואינו תלוי בשום גורמים.

ר' 24) **לחישוב מתח ההדקים של סוללה מקבילית, עלינו:**

א) לחסר את מפל המתח הפנימי של הסוללה מהכא"מ של תא אחד.

ב) לחסר את מפל המתח הפנימי מסכום הכא"מ של התאים הבודדים.

ג) לסכם את מתחי ההדקים של התאים הבודדים.

ד) לסכם את הכא"מ של התאים הבודדים.

ר' 25) **כמות החשמל, אשר מסוגלת לספק סוללה מקבילית:**

א) שווה לכמות החשמל, שמסוגל לספק התא הבודד.

ב) שווה לסכום כמויות החשמל, שמסוגלים לספק התאים הבודדים.

ג) תלויה בהתנגדות נגד העומס.

ד) תלויה בכא"מ של הסוללה.

ר' 26) **על-ידי תוספת תאים במקביל:**

א) עולה הכא"מ של הסוללה.

ב) יורד הכא"מ של הסוללה.

ג) יורד מפל המתח הפנימי בסוללה.

ד) עולה מפל המתח הפנימי בסוללה.

ר' 27) **נוהגים להשתמש בסוללות מעורבות:**

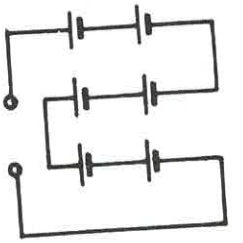
א) כאשר מעוניינים בכא"מ גבוה יותר, וכמות חשמל גדולה יותר מאלה של תא בודד.

ב) כאשר מעוניינים בהתנגדות פנימית נמוכה ככל האפשר.

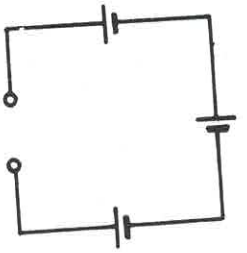
ג) לצורך הספקת אנרגיה לצרכנים, המחוברים בחיבור מעורב.

ד) כאשר מעוניינים במפל מתח פנימי נמוך ככל האפשר.

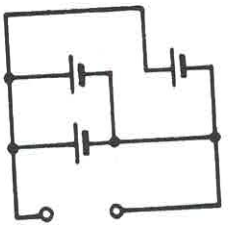
28) איזו מהסול.ת הבאות היא סוללה מעורבת?



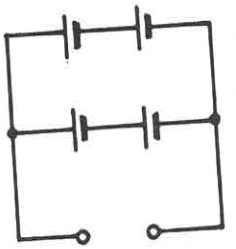
א)



ג)



ב)



ד)

29) הכא"מ השקול של סוללה מעורבת תלוי:

א) במספר התאים ובכא"מ של תא בודד.

ב) במספר התאים, בכא"מ ובהתנגדות הפנימית של תא בודד.

ג) במפל המתח הפנימי בסוללה.

ד) במספר התאים, באופן חיבורם ובכא"מ של תא בודד.

30) בסוללת תאים מעורבת:

א) מתח ההדקים והכא"מ הם מושגים זהים.

ב) מתח ההדקים מעט גבוה מהכא"מ.

ג) רק במעגל פתוח שווה מתח ההדקים לכא"מ.

ד) לא ייתכן שמתח ההדקים יהיה שווה לכא"מ.

31) סוללה מעורבת מספקת זרם למערכת נגדים. אם ההתנגדות תעלה:

א) יעלה מתח ההדקים של הסוללה.

ב) ירד מתח ההדקים של הסוללה.

ג) יעלה מתח ההדקים עד לערך מסויים ולאחר מכן ירד.

ד) מתח ההדקים אינו תלוי בהתנגדות העומס.

ר'7) מצבר בנוי 30 תאים, בעלי כא"מ של 2.2 וולט והתנגדות פנימית 0.002 אום, בחיבור טורי. חשב:

א) את עוצמת הזרם המירבית שניתן לצרוך מהמצבר.

ב) את מתח הדקיו בהיותו מחובר למעגל בעל התנגדות שקולה של 6.5 אום.

ר'8) שישה תאים יוצרים סוללה טורית. מחברים לסוללה זו צרכן שהתנגדותו 16.5 אום. חשב את מתח הדקי הסוללה ואת ההספק הנצרך על-ידי הצרכן.

$E_1=1.40V$ $E_2=1.50V$ $E_3=1.36V$ $E_4=1.43V$ $E_5=1.46V$ $E_6=1.45V$

$r_1=0.09\Omega$ $r_2=0.05\Omega$ $r_3=0.20\Omega$ $r_4=0.16\Omega$ $r_5=0.15\Omega$ $r_6=0.05\Omega$

ר'9) 10 תאים, בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית של 0.2 אום, חוברו בטור עם נגד שהתנגדותו 5.5 אום.

א) חשב את עוצמת הזרם במעגל.

ב) מה תהיה עוצמת הזרם במעגל, אם שניים מהתאים חוברו בקוטביות הפוכה?

ר'10) לכמה תאים הנך זקוק כדי לחבר סוללה טורית באמצעות תאים, בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות 0.3 אום, כדי להזרים זרם בעוצמה של 0.4 אמפר דרך נגד שהתנגדותו 24 אום?

ר'11) סוללה טורית, המורכבת תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.05 אום, מזרימה זרם בעוצמה של 2 אמפר דרך נגד שהתנגדותו 4.2 אום. מהו מספר התאים בסוללה?

ר'12) כמה תאים, בעלי כא"מ 2 וולט והתנגדות פנימית 0.5 אום, יזרימו זרם בעוצמה של 2 אמפר, דרך נגד שהתנגדותו 3 אום, בהיותם מחוברים בטור?

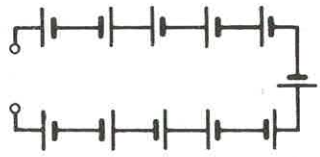
ר'13) סוללה טורית, בת 8 תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.1 אום, מפעילה צרכן שהתנגדותו 1.2 אום. חשב:

א) את מתח ההדקים של הסוללה.

ב) את ההספק, הנצרך על-ידי הצרכן.

ג) את ההספק, ההולך לאבוד בכל תא.

י'14) חשב את הכא"מ השקול וההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה המתוארת בציור י'19. הכא"מ של כל תא הוא 2 וולט והתנגדותו הפנימית 0.01 אום.



ציור י'19

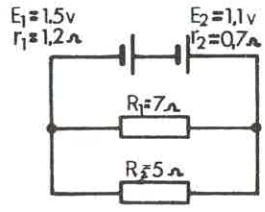
י'15) מצבר בנוי 6 תאים בעלי כא"מ 2 וולט, התנגדות פנימית 0.01 אום, וקיבול 60 אמפר-שעות. חשב את הכא"מ, ההתנגדות הפנימית, והקיבול השקול של המצבר.

י'16) בהתייחס לתרשים שבציור י'20, חשב:

א) ערצמת הזרם הזורם דרך התאים.

ב) את ערצמת הזרם בכל נגד.

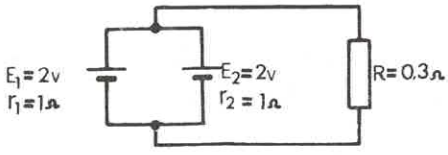
ג) את מתח ההדקים של כל תא.



ציור י'20

י'17) שני תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדויות פנימיות 0.6 ו-0.2 אום מחוברים במקביל. חשב את הכא"מ השקול ואת ההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה.

י'18) בהתייחס לציור י'21 חשב את הכא"מ השקול של הסוללה, את ההתנגדות הפנימית השקולה ואת עוצמת הזרם דרך הנגד.

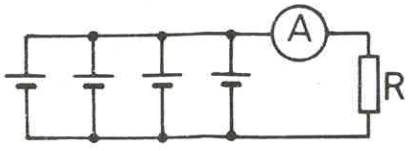


ציור י'21

י'19) נגד בעל התנגדות R מחובר לסוללה מקבילית בעלת 4 תאים, בעלי כא"מ של 2v והתנגדות פנימית 0.5 אום (ציור י'22).

א) חשב את מתח הדקי הסוללה, אם מד הזרם מציין 4 אמפר.

ב) מה התנגדותו R של הנגד?



ציור י'22

20) שישה תאים, בעלי כא"מ של 2 **וולט** והתנגדות פנימית 0.6 אום, מהווים סוללה מקבילית.

א) מהי עוצמת הזרם המירבית, שניתן לצרוך מסוללה זו?

ב) מה תהיה עוצמת הזרם במעגל, אם נחבר להדקי הסוללה נגד שהתנגדותו 0.1 אום?

21) ברשותנו 5 תאים בעלי כא"מ של 2 וולט, התנגדות פנימית 0.1 אום וקיבול 5 אמפר-שעות.

א) בהיותם מחוברים בטור - מה תהיה עוצמת הזרם המירבית שניתן לצרוך מהסוללה ומה יהיה קיבולה?

ב) בהיותם מחוברים במקביל - מה תהיה עוצמת הזרם המירבית, שניתן לצרוך מהסוללה ומה יהיה קיבולה?

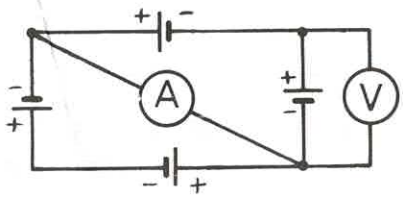
22) סוללה מקבילית, המורכבת מארבעה תאים בעלי כא"מ של 1.4 וולט והתנגדות **פנימית 0.96 אום**, מחוברת לצרכן בעל התנגדות 0.46 אום.
חשב את עוצמת הזרם דרך הצרכן, את מתח ההדקים ואת ההספק הנצרך על ידי הצרכן.

23) חשב את הכא"מ השקול של סוללה מעורבת, המורכבת משמונה תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט.

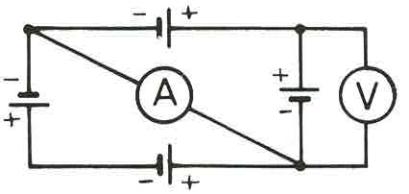
א) בהיותם מחוברים בשתי שורות מקבילות בנות ארבעה תאים.

ב) בהיותם מחוברים בארבע שורות מקבילות בנות שני תאים.

24) 4 תאים, בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.1 אום, מחוברים ביניהם, כפי שמתואר בציור י'23. מה יציין כל אחד משני מכשירי המדידה?



ציור י'23



ציור י'24

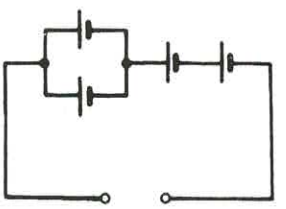
י'25) 4 תאים, בעלי כא"מ של 2 וולט והתנגדות פנימית 0.5 אום, מחוברים ביניהם, כפי שמתואר בציור י'24. מה יציין כל אחד משני מכשירי המדידה?

י'26) 6 תאי מצבר, בעלי כא"מ של 2 וולט, התנגדות פנימית 0.06 אום וקיבול 20 אמפר-שעות, מחוברים ביניהם בשלושה אופנים שונים. חשב את הכא"מ השקול, את ההתנגדות הפנימית השקולה ואת הקיבול השקול, כאשר:

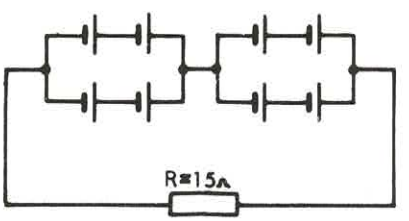
א) כל התאים מחוברים בטור.

ב) כל התאים מחוברים במקביל.

ג) התאים מחוברים בשתי שורות מקבילות בנות שלושה תאים.


ציור י'25

י'27) 4 תאים, בעלי כא"מ 2 וולט, התנגדות פנימית 1 אום וקיבול 2 אמפר-שעות, מחוברים ביניהם בטור או במקביל או בחיבור מעורב, כפי שמתואר בציור י'25. חשב בכל אחת משלושת האפשרויות שצויינו, את הכא"מ השקול, את ההתנגדות הפנימית השקולה ואת הקיבול השקול.



ציור י'26

י'28) הכא"מ של כל אחד מהתאים, המופיעים בציור י'26, הוא 2 וולט והתנגדותו הפנימית 0.5 אום. חשב את עוצמת הזרם הכללי במעגל.

י'29) סוללה, המורכבת 4 שורות מקבילות בנות 3 תאים בטור, מזינה צרכן שהתנגדותו 10 אום. חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הצרכן כאשר הכא"מ של כל תא הוא 2 וולט והתנגדותו הפנימית 0.5 אום.

30) סוללה בנויה 3 שורות של תאים ובכל שורה 4 תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית של 0.3 אום. סוללה זו מזינה נורית שהתנגדותה 2.6 אום.
חשב את עוצמת הזרם בנורית ואת מפל המתח עליה.

31) כל אחת משלוש סוללות נפרדות בנויה 4 תאים, בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.5 אום. לכל סוללה מחוברת נורית בעלת התנגדות של 2.5 אום. בסוללה הראשונה התאים מחוברים בטור, בשניה במקביל ובשלישית בשתי שורות זהות.
חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך כל אחת משלוש הנוריות.

32) סוללה בת 12 תאים, מורכבת בשלוש שורות מקבילות בנות 4 תאים.
הכא"מ של כל תא הוא 1.5 וולט, התנגדותו הפנימית 0.3 אום וקיבולו 7 אמפר-שעות. הסוללה מזינה נורה שהתנגדותה במצב חם היא 2 אום.
חשב את ההספק הנצרך על-ידי הנורה ואת אורך חיי הסוללה בפעולה רצופה.

33) 24 תאים, בעלי כא"מ של 1.4 וולט והתנגדות פנימית של 0.08 אום, מחוברים בארבע שורות מקבילות בנות שישה תאים בטור. חשב את ההספק, הנצרך על-ידי צרכן, המחובר לסוללה, אם התנגדותו 3.2 אום.

34) ברשותך 6 תאים בעלי כא"מ של 2 וולט והתנגדות פנימית 0.2 אום. כיצד תחברם, על מנת שהסוללה תזרים זרם בעוצמה של 2 אמפר דרך נגד שהתנגדותו 2.7 אום?

35) ברשותך 24 תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.1 אום. כיצד תחברם כדי להכין סוללה, אשר תזרים זרם בעל עוצמה מירבית דרך נגד שהתנגדותו 0.15 אום. חשב את עוצמת הזרם דרך הנגד.

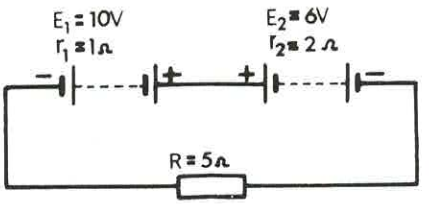
36) עליך להכין סוללה, באמצעות 3 תאים בעלי כא"מ של 1.5 וולט והתנגדות פנימית 0.25 אום, אשר תזרים זרם בעוצמה מירבית דרך צרכן שהתנגדותו 0.35 אום.
כיצד תחבר את התאים?

37.י) עליך להכין שלוש סוללות בנות 12 תאים בכל סוללה. ברשותך תאים בעלי כא"מ של 2 וולט והתנגדות פנימית 0.3 אום. כיצד תחבר את התאים, בכל סוללה, כדי לצרוך זרם מירבי, אם הראשונה מיועדת להזין צרכן שהתנגדותו 0.03 אום, השניה מיועדת להזין צרכן שהתנגדותו 0.9 אום, והשלישית מיועדת להזין צרכן שהתנגדותו 4 אום.

38.י) 4 סוללות, בעלות כא"מ של 4.5 וולט והתנגדות פנימית 1 אום, מחוברות בטור עם נגד שהתנגדותו 8 אום. חשב את עוצמת הזרם במעגל ואת מפל המתח על-גבי הנגד.

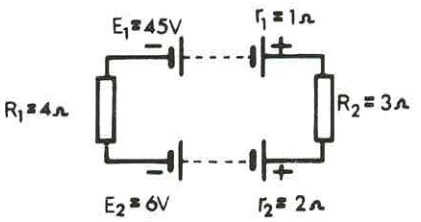
39.י) שני מחוללים, בעלי כא"מ של 110 וולט והתנגדות פנימית של 1 אום, מחוברים בטור כדי להפעיל צרכן המיועד למתח 220 וולט, שהתנגדותו 20 אום.
חשב את מפל המתח על-גבי הצרכן ואת ההספק הנצרך על-ידו.

40.י) חשב את עוצמת הזרם הזורם במעגל החשמלי המופיע בציור י.27.
הדרכה: שים לב לקוטביות הסוללות.



ציור י.27

41.י) מה תהיה עוצמת הזרם הזורם במעגל שבציור י.28?

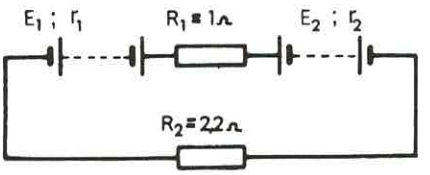


ציור י.28

42.י) חשב את מפל המתח על גבי הנגדים R_1 ו- R_2, המחוברים במעגל שבציור י.29.

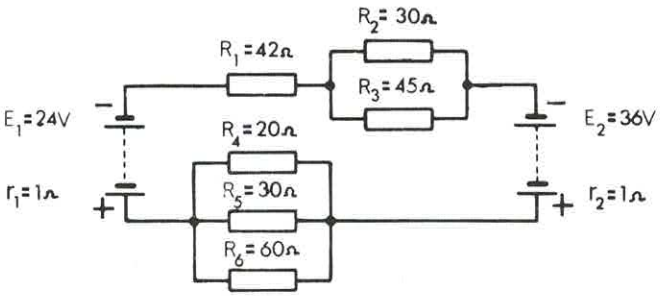
נתון: $E_1 = 18V$ $r_1 = 0.5\Omega$

$E_2 = 10V$ $r_2 = 0.3\Omega$



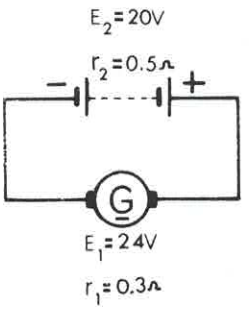
ציור י.29

43) במעגל המופיע בתרשים שבציור י' 30 חשב את מפל המתח על R_1 ואת עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R_2.



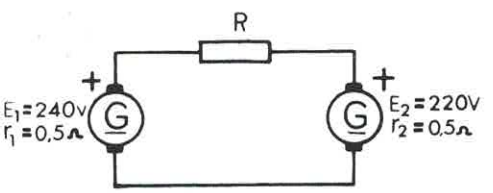
ציור י' 30

44) מחולל ומצבר מחוברים זה לזה כמתואר בציור י' 31.
חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך שני מקורות המתח.



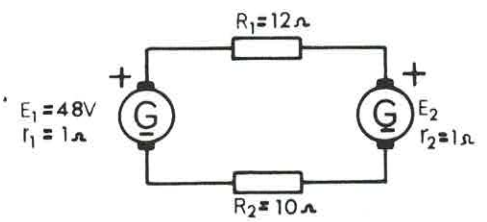
ציור י' 31

45) מה התנגדותו R של הנגד, המופיע במעגל שבציור י' 32, אם עוצמת הזרם במעגל היא 10 אמפר.



ציור י' 32

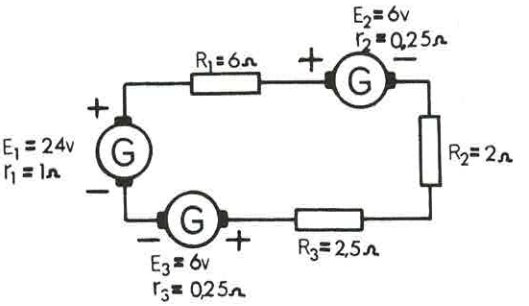
46) חשב את הכא"מ E_2, אם ידוע, שעוצמת הזרם במעגל היא 1 אמפר (ציור י' 33).



ציור י' 33

י׳47) א) חשב את ההספק הנצרך על-ידי כל אחד משלושת הצרכנים במעגל שבציור י׳34.

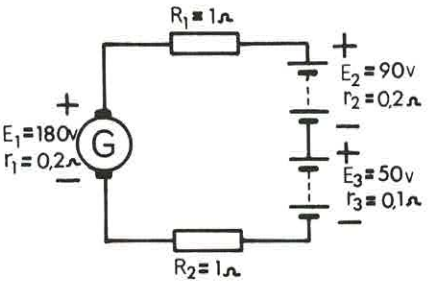
ב) איזה הספק הולך לאיבוד בהתנגדויות הפנימיות של המחוללים?



ציור י׳34

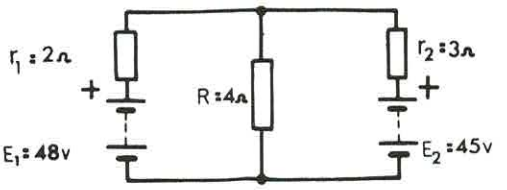
י׳48) א) מה תהיה עוצמת הזרם במעגל שבציור י׳35?

ב) מה תהיה עוצמת הזרם, אם נהפוך את הקוטביות של המצבר אשר הכא"מ שלו הוא E_3?



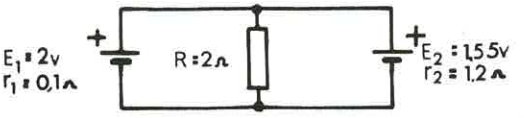
ציור י׳35

י׳49) במעגל שבציור י׳36 חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R.



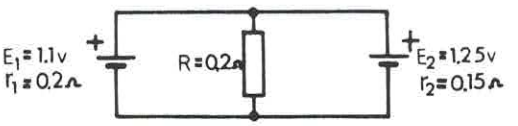
ציור י׳36

י׳50) חשב את עוצמת הזרם, הזורם דרך הנגד R, שבציור י׳37, ואת מפל המתח עליו.



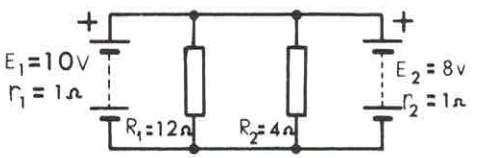
ציור י׳37

י'51) בהתייחס לציור י'38,
חשב:
א) את עוצמת הזרם
בצרכן.
ב) את עוצמת הזרם
דרך כל תא.
ג) את מפל המתח על
הצרכן.



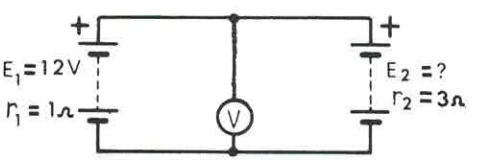
ציור י'38

י'52) שני נגדים R_1 ו- R_2
מחוברים במקביל לשתי
סוללות, כפי שמתואר
בציור י'39.
חשב את עוצמת הזרם
דרך כל אחד מהנגדים
ואת מפל המתח עליהם.
הדרכה: העזר בנגד שקול R_{12}



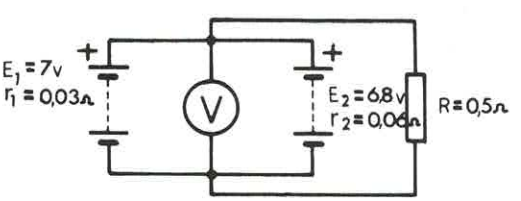
ציור י'39

י'53) **מד-המתח המחובר**
במעגל מציין 0.
חשב את הכא"מ E_2
(ציור י'40).



ציור י'40

י'54) מהי עוצמת הזרם, שמספק
לצרכן כל אחד מהמצברים
שבמעגל בציור י'41.
מה מציין מד-המתח?
הדרכה: לשם נוחיות,
העתק את הציור
כך שהצרכן ימצא
בין 2 המצברים.



ציור י'41

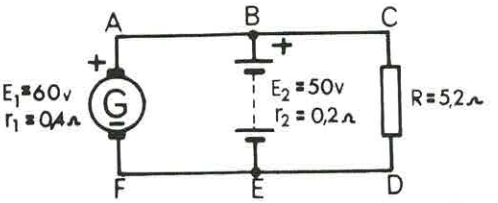
י'55) צרכן R , שהתנגדותו 5.2 אום, מחובר במקביל לשני מקורות מתח בעלי כוחות-אלקטרומניעים E_1 ו- E_2.
חשב:

א) עוצמת הזרם דרך המחולל.

ב) עוצמת הזרם דרך המצבר.

ג) עוצמת הזרם דרך הצרכן.

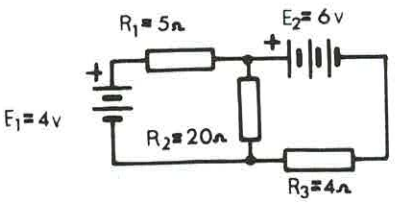
ד) מפל המתח על הצרכן.



ציור י'42

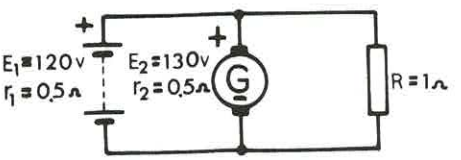
הדרכה: לנוחיותך, רשום את משוואותיך בהתייחס לעניבות ACDF ו- BCDE (ציור י'42).

י'56) בהזנחת ההתנגדויות הפנימיות של המקירות - חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הצרכן R_2 המחובר במעגל שבציור י'43.



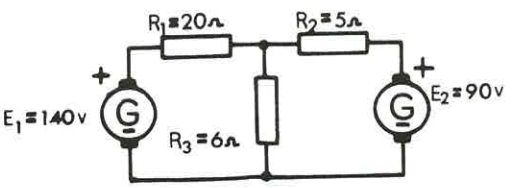
ציור י'43

י'57) בהתייחס למעגל שבציור י'44 - חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R ואת מפל המתח עליו.



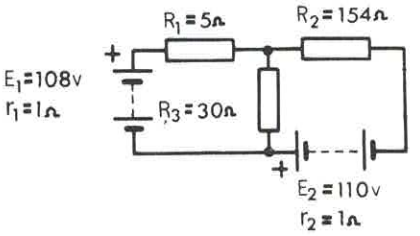
ציור י'44

י'58) בהזנחת ההתנגדויות הפנימיות של מקורות המתח - חשב את עוצמות הזרמים דרך הנגדים R_1 R_2 R_3 (ציור י'45)



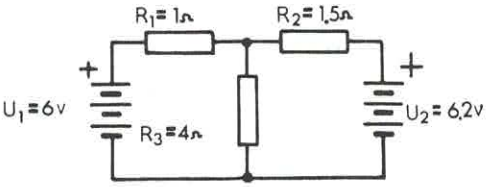
ציור י'45

59) בהתייחס למעגל שבציור י' 46 – חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R_2 ואת מפל המתח עליו.



ציור י' 46

60) חשב את עוצמות הזרמים I_1 I_2 I_3 , הזורמים דרך הנגדים R_1 R_2 R_3 , שבמעגל המופיע בציור י' 47.

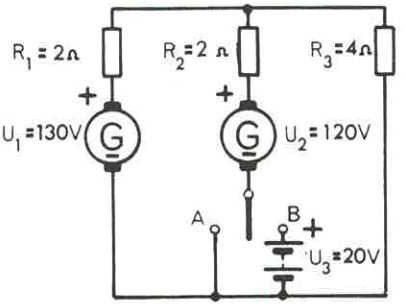


ציור י' 47

61) בהתייחס לציור י' 48 – חשב את עוצמת הזרם בשלושת הענפים של המעגל במצבים הבאים:

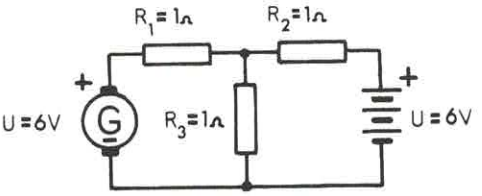
א) כאשר המפסק מחובר במצב A .

ב) כאשר המפסק מחובר במצב B .



ציור י' 48

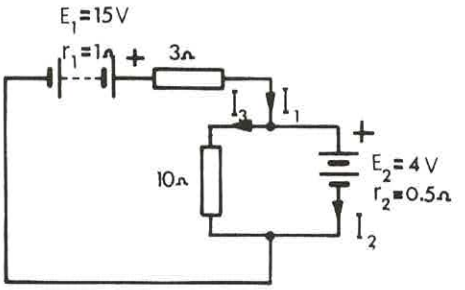
62) א) מהי עוצמת הזרם, שמספק כל אחד מהמקורות למעגל שבציור י' 49; ומהי עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R_3 ?



ציור י' 49

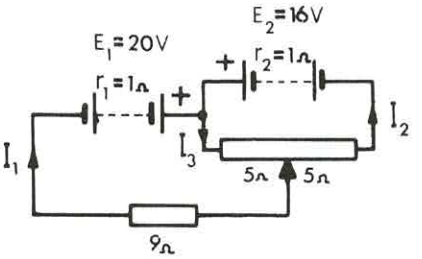
ב) אם נהפוך את קוטביות הסוללה – חשב את עוצמות שלושת הזרמים.

63 י) בהתייחס לתרשים שבציור י' 50 - חשב את עוצמות הזרמים I_1 I_2 I_3 המסומנים במעגל.



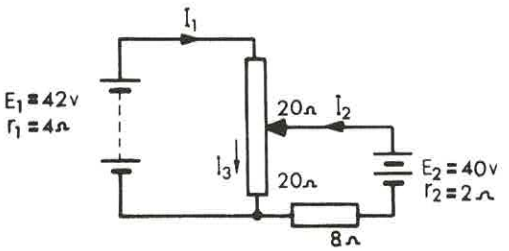
ציור י' 50

64 י) חשב את עוצמות הזרמים I_1 I_2 I_3 המסומנים בציור י' 51.



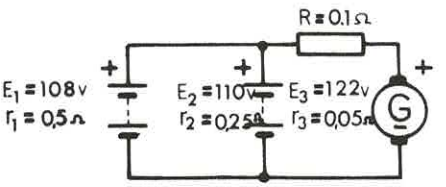
ציור י' 51

65 י) חשב את עוצמות הזרמים I_1 I_2 I_3 המסומנים בציור י' 52.



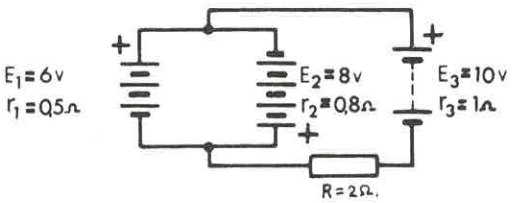
ציור י' 52

66 י) לפניך מעגל הכולל שלושה מקורות מתח (ציור י' 53). חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R.



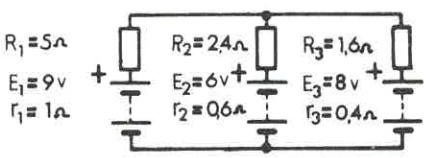
ציור י' 53

67) חשב את עוצמת הזרם הזורם בצרכן, המחובר במעגל שבציור י'54.



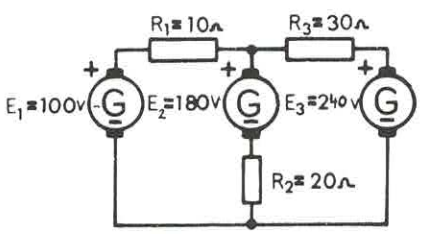
ציור י'54

68) חשב את עוצמות הזרמים בכל אחד מענפי המעגל המופיע בציור י'55.



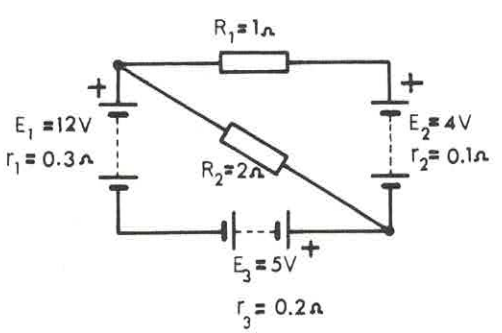
ציור י'55

69) מהי עוצמת הזרם הזורם דרך כל אחד משלושת המחוללים, המופיעים במעגל שבציור י'56? מזניחים את ההתנגדות הפנימית של כל מחולל.



ציור י'56

70) בהתייחס למעגל המופיע בציור י'57 – חשב את עוצמת הזרם I_1 הזורם דרך הנגד R_1 ואת עוצמת הזרם I_2 הזורם דרך הנגד R_2.

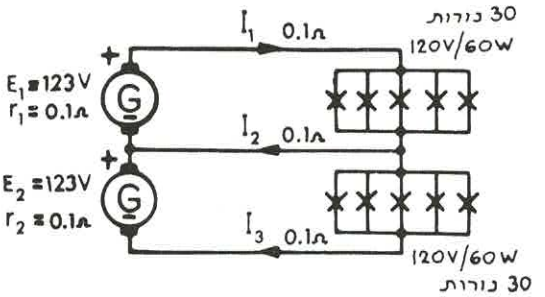


ציור י'57

י'71) בציור י'58 מתוארת רשת בעלת שלושה תילים.

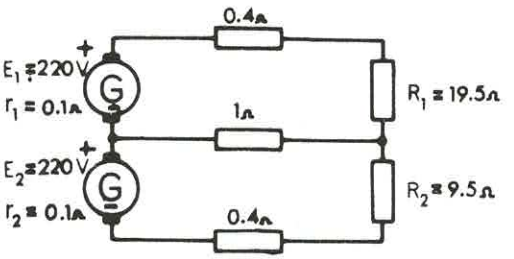
א) חשב את עוצמת הזרם בכל תייל.

ב) חשב את מפל המתח על כל קבוצת נורות



ציור י'58

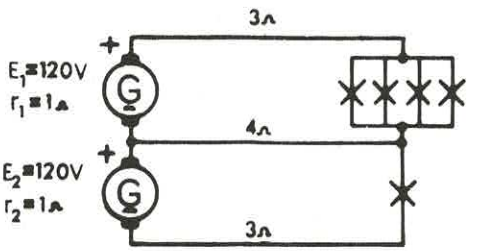
י'72) חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הצרכנים R_1 ו- R_2 המסומנים בציור י'59.



ציור י'59

י'73) כל אחת מהנורות, המחוברות ברשת המתוארת בציור י'60, צורכת זרם בעוצמה של 0.5 אמפר.

חשב את מפלי המתח על קבוצת הנורות ועל הנורה הבודדת.



ציור י'60